

TRATADO

ELEMENTAL

DE FISICA,

POR

EL P. ANTONIO CANUDAS,

DE LA COMPAÑÍA DE JESUS.

BARCELONA.

IMPRENTA DE MAGRIÑÁ Y SUBIRANA

CALLE DE FERNANDINA, NÚMERO 47.

1864.

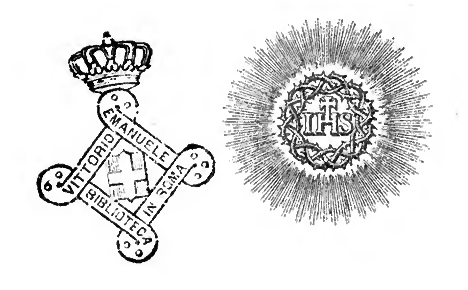
TRATADO
ELEMENTAL
DE FÍSICA.

TRATADO
ELEMENTAL
DE FISICA,

POR

EL P. ANTONIO CANUDAS.

DE LA COMPAÑÍA DE JESUS.





BARCELONA.

IMPRENTA DE MAGRIÑÁ Y SUBIRANA,
CALLE DE FERLANDINA, NÚMERO 47.

1864.

ADVERTENCIA.

Al redactar el presente tratado de Física, se ha tenido en consideracion, que aunque los alumnos de física no empleen en el estudio de esta ciencia mas que el tiempo que les permite una sola leccion diaria, puedan sin embargo recorrer todas las materias principales y estudiarlas con la debida solidez sin verse obligados á echar mano de libros que no contengan mas que simples nociones. Por tanto, con el objeto de que la obra sea útil á toda clase de escolares, aun á los que siguen los cursos de ampliacion de la 2.ª enseñanza, hemos dado la conveniente estension á las materias así físico-matemáticas, como físico-químicas, sirviéndonos en su redaccion de las obras de los autores de mas nombradla que se han publicado en estas materias y procurando al mismo tiempo poner al lector al corriente de los inventos mas recientes.

TRATADO

ELEMENTAL

DE FÍSICA.

LIBRO PRIMERO.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS

CAPÍTULO PRIMERO.

NOCIONES PRELIMINARES.

1. Por *Física* en general entendemos el estudio de la naturaleza, ó sea de todo lo que constituye este mundo sensible. Por lo que la física en toda su extension es vastísima, y puede dividirse en cuatro partes, que son la *Astronomía*, que se ocupa de la atraccion planetaria; la *Química*, que investiga la naturaleza íntima de los cuerpos; la *Historia natural,* que dá la descripcion y distribucion metódica de los animales, vejetales y minerales; y finalmente la *Física propiamente dicha*, que comprende el estudio de las propiedades de los cuerpos unido al de los agentes ó fuerzas, que obran sobre ellos, sin alterar su naturaleza. Como los progresos que han hecho las ciencias naturales han unido tan estrechamente entre sí la Física propiamente dicha y la Química, que no es fácil determinar los límites que las separan, y además la una sin la otra quedaria sumamente imperfecta, al estudio de la *Física* se añaden ordinariamente los principios de *Química*, y entonces el ramo toma el nombre de *Físico-Química*.

2. Llamamos *cuerpo ó materia* todo lo que es ocasion próxima de nuestras sensaciones, y nos parece extenso. Al espacio puro no le decimos *cuerpo*, porque aunque extenso, no ofrece resistencia algu-

na á nuestros sentidos; ni tampoco llamaríamos cuerpo á una fuerza que se nos opusiese, aun cuando la pudiésemos imaginar, si no nos pareciese extensa.

3. Las modificaciones que continuamente observamos en los cuerpos, toman el nombre de *fenómenos,* y las fórmulas con que expresamos las relaciones entre dos ó mas fenómenos y sus causas, las llamamos *leyes físicas*, cuya reunion y enlace constituye la ciencia filosófica de la naturaleza.

4. Los cuerpos se nos presentan ó en estado sólido ó en estado líquido, ó en estado aeriforme ó gaseoso. Los cuerpos en *estado sólido* están compuestos de partes, que no se pueden separar, sin ejercer sobre ellos un esfuerzo mas ó menos considerable. En virtud de esta trabazon los cuerpos sólidos conservan su propia figura. Los cuerpos *líquidos* constan de partes, que facilmente se pueden separar, y que resbalan las unas sobre las otras; por lo que los cuerpos en este estado se amoldan á la forma de los vasos que los contienen. Los cuerpos *gaseosos* ó *aeriformes* constan de partes sumamente movibles y en un estado continuo de repulsion. Los líquidos y los gases toman el nombre general de *fluidos*.

5. Se llaman *propiedades* de los cuerpos las diferentes maneras con que estos se presentan á nuestros sentidos. Estas propiedades se dividen en *esenciales*, *generales* y *particulares*: las primeras son comunes á todos los cuerpos, y no pueden existir sin ellas; las generales son tambien comunes á todos los cuerpos, pero estos podrian existir sin ellas; finalmente las particulares son las que solamente se observan en ciertos cuerpos.

CAPÍTULO II.

PROPIEDADES ESENCIALES DE LOS CUERPOS.

6. Todos los cuerpos ocupan un espacio limitado, el cual constituye su *extension;* y como es imposible que existan sin ella, esta propiedad se considera como esencial á los mismos cuerpos. Así tambien son esencialmente *figurados*, porque ocupando cada uno una porcion del espacio, son circunscritos por límites que determinan la forma ó figura que tiene el cuerpo.

7. La materia es *inerte*, porque no importando su concepto que ocupe mas bien un lugar que otro en el espacio, no hay razon para que de sí misma pase del reposo al movimiento, ni de este al reposo.

Por lo que un cuerpo quedará en reposo ó se conservará en movimiento, hasta que una causa cualquiera extrínseca lo haga pasar al estado opuesto. Esta indiferencia de la materia es lo que se llama *inercia,* y se cuenta entre las propiedades esenciales de la materia, aunque sea negativa. El movimiento que frecuentemente observamos en los cuerpos, no siendo espontáneo, en ninguna manera se opone á su inercia. Cuanto mas liso es un plano, por donde corre una bola por un impulso recibido, tanto mas dura su movimiento, de lo que se colige, que este seria indefinido, si el cuerpo no encontrase obstáculo alguno, que se opusiese á su movimiento.

8. De aquí se sigue, que todos los cuerpos son *movibles,* ó que la *movilidad* es una propiedad esencial de los cuerpos, puesto que no hay razon, para que deban ocupar mas bien una parte del espacio que otra.

9. Todo cuerpo siendo extenso, puede absolutamente ser dividido, porque siempre se puede concebir un plano que pase por medio de él, y una fuerza que separe las dos partes. Así la *divisibilidad* es una propiedad esencial de todos los cuerpos, si bien puede darse que el cuerpo sea tan pequeño, y sus partes tan unidas, que ninguna fuerza á nosotros conocida sea capaz de dividirlo.

CAPÍTULO III.

DE LA DIVISIBILIDAD FÍSICA DE LOS CUERPOS.

10. La divisibilidad efectiva ó física de los cuerpos es tal, que vence nuestros sentidos, aun ayudados con los mejores instrumentos del arte. Infinidad de ejemplos pueden citarse en comprobacion de esto, pero todos pueden reducirse á cinco ó seis clases. La primera clase de ejemplos es la que nos ofrecen muchos metales reduciéndolos á láminas ó hilos. Los galones de oro están formados por hilos de plata cubiertos de oro, de modo que en un pié de largo solo hay próximamente $\frac{1}{6000}$ de grano de oro, y así en una pulgada habrá solo $\frac{1}{72000}$ de grano, y en una línea solo $\frac{1}{864000}$. Si ahora se observa esta superficie dorada con un microscopio que aumente solo 10 veces, podrá dividirse aun en otras tantas partes visibles, y así el grano de oro queda dividido en 8.640,000 partes, en cada una de las cuales se percibe el color, brillo y demás caractéres del oro. El platino se deja reducir á hilos de $\frac{1}{1200}$ de milímetro de diámetro, cuya sutileza es tal, que 3000 piés no llegan á pesar 5 centígramos, y ciento de estos hilos no pasan del grueso de un hilo de seda.

11. Otra clase de pruebas nos presentan la mayor parte de los cuerpos, que se dejan reducir á polvo tan fino que llega á ser impalpable.

12. La disolucion de los sólidos en los líquidos nos ofrece otra prueba sorprendente de la divisibilidad de la materia. Con un grano de cobre disuelto en un ácido llegan á colorarse sensiblemente mas de 100 pulgadas cúbicas de agua, en cada una de las cuales hay mas de un millon de partes visibles.

13. Otro género de pruebas nos ofrecen los mismos liquidos, que convertidos en vapor no son mas visibles, y no obstante aun en este estado son divididos en otras partes.

14. Los olores que despiden muchas substancias, aun ofrecen una prueba mas luminosa. Así un grano de almizcle basta para llenar de olor una sala por muchísimo tiempo, sin que disminuya sensiblemente de peso.

15. Finalmente otra prueba de la maravillosa divisibilidad de la materia nos suministran los insectos llamados *microscópicos*, porque solamente con el microscopio se hacen visibles. Estos séres viven, constan de miembros, estos de vasos por donde circulan los líquidos necesarios á la vida. ¿Cuál es pues su sutileza? Muchos de estos insectos se ven en una gotita putrefacta, sostenida en la punta de un alfiler.

16. Aunque los límites de la division efectiva de la materia pasen mucho mas allá de lo que pueden observar nuestros sentidos, aun ayudados con todos los socorros del arte, no por esto se debe creer que las partes del cuerpo dividido hayan llegado al límite de la division. Con todo parece que la division efectiva tenga un límite, que no se pueda pasar jamás, ó sea porque una ulterior division de la materia sea realmente imposible, ó bien porque faltan las fuerzas necesarias á tal efecto. Estas pequeñas partes de la materia físicamente indivisibles, ó reducidas á los límites de la division, toman el nombre de *átomos*, esto es, *indivisibles*.

CAPÍTULO IV.

DE LA IMPENETRABILIDAD DE LOS CUERPOS.

17. Llámase impenetrabilidad aquella propiedad, por la cual dos cuerpos no pueden ocupar simultáneamente un mismo lugar. Esta propiedad se nos manifiesta por una contínua experiencia. No podemos hacer penetrar la mano en un sólido, aun reducido á polvo, ni

siquiera en un líquido, sin desalojarlo del lugar donde se introduce la mano. El aire en movimiento desaloja otros cuerpos de sus lugares y sufre una resistencia; al revés los cuerpos experimentan tanta mayor resistencia al moverse en el aire, cuanto mayor es la velocidad con que se mueven.

18. Algunos esperimentos bastante curiosos se suelen hacer en confirmacion de la impenetrabilidad del aire. Se pega un papelito al fondo de un vaso, y luego se sumerge boca abajo en un líquido, y el papel no se moja. Puesta una cerilla encendida sobre un corchito flotante en el agua se cubre con un vaso y se sumerge dentro del agua, la cerilla queda encendida por algun tiempo. Se cubre con un papel un vaso lleno de agua, y revolviéndolo, ni el papel ni el agua caen.

19. Esta propiedad sin embargo debe atribuirse mas bien á la materia, que á los cuerpos. Algunas veces observamos fenómenos, que parecen indicar alguna compenetracion. Así vemos que el volúmen de una aleacion de dos metales es á veces menor que la suma de los volúmenes de los mismos metales antes de unirse. Lo mismo se observa mezclando el agua con el alcohol, ó con el ácido sulfúrico. Observamos tambien que con fuertes presiones, ó enfriando los cuerpos, estos disminuyen de volúmen. Pero todos estos fenómenos se esplican muy bien, observando que entre las partes de los cuerpos existen muchísimos intervalos ó vacíos que llamamos *poros*, los cuales pueden disminuir por la accion de una fuerza, ó ser ocupados por otro cuerpo.

20. Muchas aplicaciones tiene en la práctica la impenetrabilidad de los cuerpos. Entre otras bastará citar el movimiento de los molinos de viento, de los buques de vela y de todas las máquinas de vapor, y la *campana de buzos*, por medio de la cual se exploran los objetos que están en el fondo de las aguas.

CAPÍTULO V.

DE LA POROSIDAD DE LOS CUERPOS.

21. Llámanse *poros* los pequeños intersticios ó vacíos que existen en el espacio contenido debajo de la superficie de un cuerpo. Todos los cuerpos son porosos, ó sea la porosidad es una propiedad general de los cuerpos. En muchos de ellos los poros son visibles á simple vista; en muchísimos otros es fácil observarlos con el microscopio. Generalmente todos los sólidos aun los mas compactos, como el platino, el oro, etc., reducidos á láminas muy finas, se muestran llenísimos de agujeros.

22. Otra prueba muy general de la porosidad de los cuerpos es que dejan pasar á través de sí otras sustancias. Así martillando ó comprimiendo una bola hueca de plata ó de otro metal, llena de agua fria, á cada golpe de martillo se vé salir el agua en forma de rocío muy fino, la cual experiencia fué hecha por primera vez en Florencia en 1661 por los académicos del *Cimento*. Las materias colorantes por medio de la esencia de trementina penetran los mármoles hasta una grande profundidad, y los coloran. Poniendo mercurio en un vaso cuyo fondo de madera ó de cuero grueso tapa la extremidad de un tubo largo de cristal, y con la máquina neumática haciendo el vacío en él, se vé el mercurio caer en forma de una lluvia abundante, que se conoce con el nombre de *lluvia de Diana*.

23. Las estaláctitas que adornan las cavernas, la humedad que atraviesa las maderas, el aceite que se empapa en muchos cuerpos, el sudor que despedimos y otros innumerables fenómenos análogos, dependen de la porosidad de los cuerpos, así como tambien la transmision de la luz por el cristal, por el diamante y por otras piedras durísimas.

24. En los poros de varias substancias se anidan muchas veces otras materias, como aire, agua, etc. Haciendo el vacío con la máquina neumática, sobre un vaso de agua, se vén una multitud de burbujitas de aire que se desprenden de todos los puntos de su masa y se dirigen á la superficie. Lo mismo se observa con un pedacito de greda echado en el agua, la cual penetra al mismo tiempo hasta lo mas interior de su masa. La piedra llamada *hidrófana* en su estado ordinario es semitrasparente; pero sumergiéndola en el agua, esta penetra en ella, haciéndola aumentar de peso, y se hace diáfana.

25. De lo que se deduce que es muy diferente el *volúmen real* de un cuerpo, es decir el espacio ocupado por la sustancia propia del cuerpo, y el *volúmen aparente*, ó sea el espacio limitado por su forma exterior. El volúmen real constituye lo que se llama *masa* del cuerpo, y esta distribuida en el volúmen aparente, que suele llamarse simplemente *volúmen*, determina su *densidad*. Por lo que llamando V al volúmen aparente del cuerpo, y M la masa que contiene, su densidad D será igual $\frac{M}{V}$, de donde $M = VD$. La diferencia entre la masa y el volúmen es el volúmen total de los poros, ó del espacio vacío, el cual en la mayor parte de los cuerpos y probablemente en todos, es sin comparacion mucho mayor que su volúmen real. Así por ejemplo un volúmen de agua es próximamente 22 veces mas lijero que un igual volúmen de platino, luego suponiendo que este no tuviese poros, en el volúmen de agua habria solo $\frac{1}{22}$ de masa y $\frac{21}{22}$ de vacío, pero como el platino está llenísimo de poros, el espacio vacio contenido en el volúmen de agua es incomparablemente mayor.

CAPÍTULO VI.

DE LA COMPRESIBILIDAD DE LOS CUERPOS.

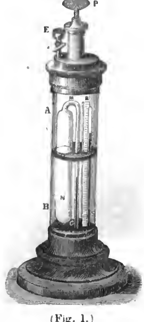
26. Por *compresibilidad*, se entiende aquella propiedad, por la cual los cuerpos pueden reducirse de volúmen, cuando se los oprime por todas partes. Puesto que todos los cuerpos son porosos, podrá disminuir el espacio ocupado por los poros, y así el cuerpo tendrá un volúmen menor. Experimentalmente lo vemos en muchos cuerpos, como en las esponjas, papel, corcho, etc., los cuales con la compresion desprenden los fluidos, que se contienen en su interior. Los metales con la percusion se hacen mas compactos. Las monedas y las medallas, recibiendo la forma del cuño, que las ha oprimido, tienen un volúmen sensiblemente menor que antes de recibir la impresion.

27. Esta propiedad la poseen los cuerpos cada uno en un grado muy diferente. Si los sólidos son sensiblemente porosos, ó flexibles, facilmente se observa su compresion; pero si no lo son, la resistencia que oponen es enorme, y la cantidad de que se comprimen, es insensible. No se ha podido aun verificar la compresion del mármol, del vidrio y de otras semejantes sustancias.

28. Los líquidos en general son mucho menos compresibles que los sólidos. No obstante se comprueba su compresion con el aparato de Œrsted, llamado *piezometro*. Este aparato (fig. 1), consta de un tubo de cristal AB de paredes muy gruesas que por medio de un embudito E se llena de agua, dentro de la cual se sumerge una botellita MN, cuyo cuello es un tubo capilar graduado. La botella y el tubito se llenan del líquido, cuya compresion se quiere observar, el punto inferior *c* del tubo se sumerge en un baño de mercurio. Por medio de un fuerte toruillo de presion P unido á un émbolo, que cierra exactamente el vaso, se oprime el líquido que contiene, y así tambien el de la botellita, la cual estando igualmente oprimida por dentro y por fuera, su capacidad no puede aumentar, y por consiguiente el mercurio, introduciéndose en el tubo capilar, muestra la compresion del líquido contenido en la botella. Determinada de antemano la capacidad total de esta, se conocerá cuanto se habrá comprimido el líquido. Para apreciar la presion ejercida, se coloca al lado de la botellita un tubo de vidrio RS cerrado por la parte superior, lleno de aire, y por medio de la reduccion de volúmen que este sufre, introduciéndose tambien en él el mercurio, se concluye la presion ejercida, como luego se dirá en el núm. 31. De este modo se ha hallado,

que por una presion equivalente á la de la atmósfera se reducen de su primitivo volúmen.

Mercurio..	5	millonésimos.
Agua destilada purgada de aire.	51	»
Eter sulfúrico.	133	»



(Fig. 1.)



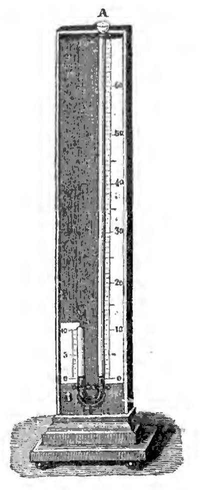
(Fig. 2.)

29. Las sustancias aeriformes se comprimen con grande facilidad, como puede observarse con el aire encerrado en una vegiga, y mejor aun con el aparatillo llamado *eslabon de aire*, que es un pequeño tubo de vidrio ó de metal cerrado por una extremidad; en su interior, que está bien calibrado, se introduce un émbolo, ó sea tapon que lo cierra exactamente. Apretando el émbolo, se reduce el aire á menor espacio; pero á medida que disminuye su volúmen, se experimenta una resistencia siempre mayor. Los mismos resultados se obtienen con todos los gases.

30. Para condensar gran cantidad de aire en pequeño volúmen sirve la máquina llamada de *compresion* (fig. 2), que consiste en una capacidad, ó vaso de paredes muy resistentes, cuyo cuello se cierra con una válvula A bien ajustada, que puede abrirse de fuera adentro. A este cuello se adapta una bomba C, cuyo émbolo tiene tam-

bien una válvula B, que se abre en el mismo sentido que la precedente. Con esta disposicion levantando el émbolo, el aire exterior penetra en la capacidad contenida entre las dos válvulas, y bajándolo, se obliga al aire introducido á abrir la válvula del vaso, y meterse dentro, de donde no puede salir, porque por su misma fuerza, aprieta la válvula A que cierra el vaso.

31. En la compresion del aire *el volúmen comprimido está en razon inversa de la presion que lo comprime;* lo que se prueba con el tubo de Mariotte (fig. 3). Este aparato consiste en un tubo ABC de vidrio encorvado, la extremidad del brazo corto está herméticamente cerrada, y por la abertura A del brazo largo, se introduce tanto mercurio, cuanto basta para interrumpir la comunicacion del aire entre ambos brazos: en este caso el aire encerrado en el brazo BC sufre como antes la presion de la atmósfera, que en el nivel del mar, es equivalente al peso de una columna de mercurio de 76 centímetros de altura. Introduciendo luego mas y mas mercurio, se vé que cuando este tiene una altura de 76 centímetros sobre el nivel inferior, el aire en el brazo BC queda reducido á la mitad de su volúmen; á dos veces dicha altura, el aire no ocupa sino $\frac{1}{3}$, á tres veces la misma altura, el aire queda reducido á $\frac{1}{4}$, y así sucesivamente.



(Fig 3.).

CAPÍTULO VII.

DE LA ELASTICIDAD DE LOS CUERPOS.

32. Llámase *elasticidad* la propiedad que tienen los cuerpos de volver á su primitiva figura, cuando cesa la causa que los ha hecho variar de forma ó de volúmen. Todos los cuerpos gozan mas ó menos de esta propiedad, pero en un grado muy diferente. Ningun sólido la posee en grado perfecto, porque forzando los sólidos de un modo cualquiera, al llegar á un cierto límite, ó se rompen, ó no vuelven mas á su primitiva figura. Pero mientras no lleguen á este límite se muestran perfectamente elásticos. Los que se manifiestan

mas elásticos son el caoutchouc, el marfil, el vidrio, el mármol; y los que menos, son el plomo y la arcilla.

33. De cuatro modos diferentes se suele ensayar la elasticidad de los sólidos: á saber, con la presion, con la traccion, con la torsion y con la flexion.

34. Para observar la elasticidad con la presion, se hace caer una bola de mármol, de marfil ó de otra sustancia sobre un plano bien liso, cubierto de una capa ligera de aceite ó de polvo muy fino: la bola despues del choque vuelve á levantarse tanto mas, cuanto es mas elástica, y además en el punto del plano donde chocó, se observa una marca circular tanto mayor, cuanto la bola cayó de mas alto: lo que manifiesta que el choque no fué en un solo punto, sino que la bola, por efecto del choque, se aplastó un poco, volviendo á tomar inmediatamente la primitiva figura.

35. La elasticidad por traccion se observa fijando á un sosten la extremidad de un cilindrito del sólido que se ensaya, y tirando la otra extremidad con diferentes pesos. Dos puntos señalados en el cilindro, cuya distancia se mide con un *catetómetro*, ó sea con un anteojito que puede correr á lo largo de una regla graduada, dá á conocer cuanto se estira el sólido con los diferentes pesos. Con este método se observa que, mientras el sólido no pase los límites de elasticidad, el estiramiento es proporcional á la fuerza de traccion y á la longitud del sólido, y está en razon inversa del cuadrado de su diámetro.

36. Para ensayar la elasticidad por torsion se hace uso de un alambre fijo por la extremidad superior, y tirado por la inferior con un pesito, al cual está unido un índice horizontal que puede recorrer un círculo graduado, cuyo centro se halla en la prolongacion del hilo.— Girando el índice, el hilo sufre una torsion tanto mayor, cuanto el ángulo descrito por el índice es mayor. Si no se pasa el límite de elasticidad, abandonado el hilo á sí mismo se destuerce, para volver á su primitiva posicion; pero en virtud de la fuerza con que vuelve á ella, se tuerce en sentido contrario, y así no se para en la primitiva posicion, sino despues de un cierto número de oscilaciones. Con este método se halla, que para un mismo hilo los ángulos de torsion son proporcionales á las fuerzas de torsion, además con la misma fuerza los ángulos son proporcionales á la longitud de los hilos, y en razon inversa de la cuarta potencia de sus diámetros.

37. La elasticidad por flexion se puede ensayar con laminitas delgadas que se fijan por una de sus extremidades, encorvándolas, y luego abandonándolas á sí mismas; se ven volver á su primitiva posicion, haciendo un cierto número de oscilaciones, antes de pararse. Con este método se muestran muy elásticos el acero templado, la madera, los naipes, la lana, las plumas, las crines y muchas otras sustancias; recibiendo esta propiedad innumerables

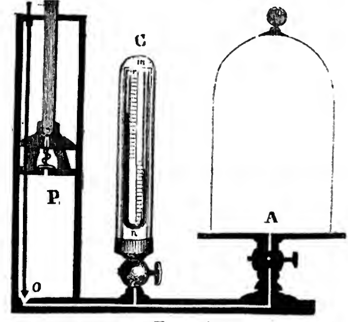
aplicaciones en las artes y en el uso de la economía doméstica.

38. Los líquidos y los gases se muestran perfectamente elásticos, porque al instante que cesa la fuerza, que los comprime, vuelven á ocupar el mismo volúmen, que tenian antes de ser comprimidos: lo que puede observarse en los líquidos con el aparato de Œrsted descrito en el número 28; y en los gases con el eslabon de aire.

39. La fuerza elástica de los gases es enteramente diferente de la de las otras sustancias; porque estas son elásticas por efecto de una fuerza atractiva, de que están dotadas sus moléculas, y de que se hablará en el libro cuarto; y por esta razon tienden simplemente á recuperar el volúmen y forma que antes tenian; pero los cuerpos aeriformes son elásticos en virtud de una fuerza expansiva, por la cual tienden á ocupar toda la capacidad que se les permite, por grande que sea; por cuyo motivo se llaman *cuerpos elásticos* por antonomasia.

40. De aquí se sigue, que si dos ó mas gases se introducen en un recipiente, todos se mezclan, no obstante su diferente densidad. Verdad es, que al principio se disponen segun su propia densidad, necesitándose tal vez muchas horas y aun dias para que se mezclen completamente. Mezclados que son los gases, no es posible separarlos mas con medios mecánicos.

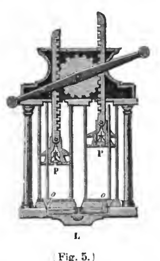
41. En la elasticidad del aire se funda la construccion y esplicacion de muchos aparatos. La *máquina neumática*, tan útil en todos los ramos de Física, consiste en un tubo encorvado (fig. 4), que por una de sus extremidades A termina en un plato horizontal, sobre el cual se coloca una campana de vidrio, ú otro cuerpo, de cuya capacidad se quiere extraer el aire; á la otra extremidad del tubo se adapta uno ó dos cuerpos de bomba, cuyo émbolo tiene una válvula P, que se abre de dentro á fuera. Al través del émbolo pasa una varilla que lleva una válvula *o*, para cerrar el tubo encorvado, al bajar el émbolo. Con esta disposicion apretando el émbolo, el aire del cuerpo



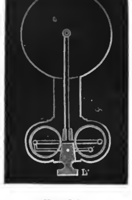
(Fig. 4.)

de bomba por su fuerza elástica abre la válvula P del émbolo, y sale fuera; pero levantando el émbolo, el aire interior se extiende por la capacidad del cuerpo de bomba; y así á cada golpe de émbolo sale una porcion de aire de la campana. Si la capacidad de la bomba es $\frac{1}{10}$ de toda

la capacidad interior, á cada golpe sale una décima parte del aire que hay. Por lo que no es posible hacer un vacío absoluto de aire con este aparato. Ordinariamente la máquina neumática tiene dos cuerpos de bomba, con lo cual el vacío se hace mas prontamente y con menos trabajo. Cuando el aire está tan enrarecido que no tendria la fuerza de abrir las válvulas de los émbolos, se gira una llave colocada entre las dos bombas, la cual intercepta la comunicacion de una de ellas con el interior de la campana, y la pone en comunicacion directa con la otra bomba, por lo que el poco aire que esta puede estraer del interior, se va condensando en la otra, hasta poder abrir su válvula y salir fuera. El trazado de las figuras 5 y 6 muestra el juego de las



(Fig. 5.)



(Fig. 6.)

válvulas, y como la comunicacion entre las bombas, y con el interior se interrumpe con el giro de la llave L. Para poder apreciar el grado de enrarecimiento obtenido, se pone la capacidad interior en comunicacion con la *probeta ó barómetro troncado*, que consiste en una pequeña campana C, (fig. 4), dentro de la cual hay un tubito de cristal *m n r*, cerrado por el extremo *r* y lleno el brazo *n r* de mercurio. Mientras no se hace el vacío, el aire sostiene el mercurio; pero á medida que el aire se va enrareciendo, baja el mercurio, y tiende á ponerse á nivel en ambos brazos. Una reglita dividida en milímetros y aplicada al tubo, dá á conocer la diferencia de los dos niveles.

42. Poniendo en la capacidad de la campana una vejiga cerrada con un poco de aire, al hacer el vacío, la vejiga se llena completamente, mostrando así la fuerza expansiva del aire encerrado en ella.

Lo mismo demuestra la *fuente de presion*. Este pequeño aparato consiste en un vasito bien tapado y lleno por mitad de agua, cuyo cuello está atravesado por un tubito, que llega casi hasta el fondo. Puesto el vaso dentro de la campana de la máquina neumática, y haciendo el vacío, se vé el líquido salir en forma de surtidor empujado por el aire que habia en el vaso encima del líquido.

43. Algunos aparatos muestran al mismo tiempo la compresibilidad y la elasticidad del aire. Se adapta al cuello de un vaso metálico (fig. 2) casi lleno de agua, un tubo *m n* que llega cerca del fondo, y por medio de una bomba se introduce mucha cantidad de aire, que se condensa encima del líquido: se gira luego una llave R que hay en el tubo, y se quita la bomba; al abrir la llave sale el líquido con grande ímpetu en forma de un hermoso surtidor. Este aparato se llama *fuente de compresion*. Análogo es el aparato conocido con el nombre de *pistola neumática*. Se condensa gran cantidad de aire en un recipiente metálico de la forma de una culata que lleva una válvula, que se abre de fuera adentro por medio de un resorte. Aplícando luego un tubo de fusil, cada vez que con el dedo se fuerza el resorte, sale con ímpetu una porcion del aire condensado, y arroja con violencia la bala puesta en el cañon. Como la válvula se cierra inmediatamente, queda aun gran cantidad de aire condensado, que permite hacer muchos tiros sin nueva carga, pero siempre con menor ímpetu, porque el aire está menos comprimido.

44. Ingenioso es el aparato llamado *fuente de Heron* del nombre de su inventor (fig. 7). Este aparato se compone de dos capacidades M y N y de un recipiente A, el cual comunica con el vaso N por medio de un tubo B C que llega casi al fondo, y este vaso N está en comunicacion con la capacidad M por medio de otro tubo D E que llega casi á su parte superior. Finalmente el recipiente A está atravesado con un tercer tubo, que llega casi al fondo del vaso M, el cual llenado de antemano, al echar agua en el vaso A, esta se introduce por el tubo BC al vaso N, cuyo aire condensándose un poco, reacciona por su elasticidad sobre el líquido contenido en M, y lo obliga á salir en forma de surtidor.



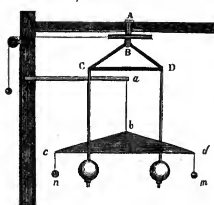
(Fig. 7).

CAPÍTULO VIII.

DE LA ATRACCION UNIVERSAL Y DE LA GRAVEDAD.

45. Se llama *atraccion universal* la tendencia que tienen los cuerpos de atraerse mútuamente, y quedar unidos, si llegan á contacto. Esta tendencia se considera como una propiedad general de la materia, y sus efectos son como si realmente existiese en los cuerpos una mútua fuerza atractiva. Si esta atraccion tiene lugar en distancias insensibles, se llama *atraccion molecular* de la que se tratará en el libro cuarto. Cuando esta atraccion se ejerce entre cuerpos colocados en distancias considerables, toma el nombre de *atraccion universal* ó *gravitacion*, de la cual se ocupa la Astronomía.

46. El giro de los planetas al rededor del sol, las perturbaciones que sufre Saturno acercándose á Júpiter, las perturbaciones de sus satélites, el movimiento de la luna al rededor de la tierra, las mareas y muchos otros fenómenos, son pruebas de la atraccion de los cuerpos colocados en distancias enormes. Además Bouguer al pié del Chimborazo, y otros físicos cerca de otras montañas han observado que un péndulo muy largo, en vez de tomar una posicion perfectamente vertical, se inclina hácia la montaña.



(Fig. 8.)

47. La atraccion universal parece obrar en razon directa de la masa, é inversa del cuadrado de las distancias. Para observarlo Cavendish inventó un aparato (fig. 8), que se compone de un alambre *ab* fijo por su extremidad superior y tirado por una palanquita *cd* horizontal, terminada en dos bolitas de cobre iguales *m*, *n*, debajo de la cual hay un círculo graduado, que da á conocer el ángulo de torsion del hilo *ab*. A la altura de las dos bolitas se suspenden de otra palanca DBC dos esferas gruesas de plomo, de modo que la línea que une sus centros pase por la prolongacion del hilo *ab*. La palanca DBC

puede girar por medio de una polea al rededor del eje AB puesto tambien en la prolongacion del hilo *ab*. A medida que las esferas de plomo se acercan á las pequeñitas, se observa que la palanca *cd* se aparta de su primitiva posicion, de modo que á $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ etc. de la distancia primitiva de las esferas el ángulo de torsion de la palanca *cd* con la posicion precedente es 4, 9, etc., veces mayor. Y como la fuerza atractiva de las esferas es la que produce la torsion del hilo, se sigue que esta fuerza crece en razon inversa del cuadrado de las distancias. Con esferas de diferente densidad se observan los ángulos de torsion proporcionales á las masas de las esferas.

48. Uno de los efectos de la atraccion universal es la *gravedad* ó *pesantez*, ó sea la tendencia que tienen los cuerpos situados sobre la tierra y cercanos á ella, de dirigirse hácia el centro de la misma tierra; de modo que se puede establecer, que *todcs los cuerpos están sujetos á la accion de la gravedad, ó son pesados.* En cuanto á los sólidos y á los líquidos la experiencia nos lo enseña contínuamente, pues todos los vemos caer con mas ó menos velocidad, si no son sostenidos. En cuanto á los aeriformes se demuestra fácilmente pesando un globo en cuya capacidad se ha hecho el vacío, y luego volviéndolo á pesar mas ó menos lleno de aire, ó de otro cualquier gas: á medida que el fluido aeriforme se introduce en el globo, este aumenta de peso. Si el humo y otros cuerpos ligeros suben mas ó menos en el aire, esto se debe al menor peso que ellos tienen.

49. Por efecto del peso del aire, la campana que se coloca sobre el plato de la máquina neumática de tal manera queda unida al mismo plato, cuando se ha hecho el vacío, que se necesitan muchos centenares de libras para levantarla. Si en vez de la campana se pone un tubo tapado con un pedazo de vejiga, esta de tal manera se encorva por el peso del aire que tiene encima, que al fin revienta con fuerte esplosion producida por la entrada impetuosa del aire. Otro experimento análogo se hace con los *Hemisferios de Magdeburgo*, así llamados de la ciudad en que se inventó dicho aparato, que consiste en dos hemisferios huecos, que se ponen en contacto por sus bordes bien ajustados: uno de los hemisferios se atornilla á la máquina neumática, y hecho el vacío, se gira una llave, para que no penetre el aire exterior. Los dos hemisferios quedan tan unidos, que se necesita un esfuerzo extraordinario para separarlos. Este experimento muestra que la presion de la atmósfera se ejerce en todos sentidos.

50. Todos los cuerpos por efecto de la gravedad, tengan mucha ó poca masa, caen con igual velocidad, desde igual altura, sino se opone algun obstáculo á su movimiento. Para observar este fenómeno, se hace el vacío en un tubo de cristal de dos metros poco mas ó menos de largo, en cuyo interior se han puesto de antemano cuerpos de diferente densidad, como plomo, madera, corcho, papel, plumas, etc.,

y revolviendo el tubo, todos estos cuerpos se ven caer en el mismo tiempo. Lo mismo se puede demostrar haciendo oscilar bolitas de diferentes sustancias sostenidas con hilos de igual longitud, que todos emplean el mismo tiempo en sus oscilaciones. En el aire los cuerpos mas ligeros caen mas despacio, porque suponiéndolos todos de igual volúmen, el aire les opondria igual resistencia, pero la fuerza para vencer esta resistencia es tanto mayor, cuanto mayor es la masa del cuerpo solicitada por la gravedad; por lo que si los mas ligeros no tuviesen que vencer esta resistencia, caerian con la misma velocidad que los mas pesados. Así se vé que colocando sobre una plancha metálica muy pesada cuerpecitos muy ligeros, todos caen con la misma velocidad de la plancha.

51. Por razon de la resistencia del aire, los líquidos al caer se dividen en gotitas; pero en el vacío caen sin dividirse, como si fuese una masa sólida, lo que puede observarse con el *martillo de agua*, que es un tubo medio lleno de agua de unos cuatro decímetros de largo cerrado herméticamente, despues de haber echado el aire con la ebullicion. Al girar el tubo, cae el agua, chocando en el fondo, como si fuese una piedra.

52. De lo dicho se sigue, que estando todas las moléculas de los cuerpos solicitadas á caer con la misma fuerza, todas pesarán igualmente, y un cuerpo que tenga doble, triple masa que otro, tendrá un doble, triple peso, ó sea, *el peso de los cuerpos será proporcional á su masa*. Por lo que, representando por G la intensidad de la pesantez, y por M la masa de un cuerpo, su peso absoluto será $P=MG$, y siendo $M=VD$ (25): se tendrá $P=VDG$. Para otro cuerpo, cuyo peso, volúmen y densidad se representen respectivamente por P', V', D', será $P'=V'D'G'$; y comparando las dos ecuaciones, será $P : P' :: VD : V'D'$; por lo que si $D=D'$, resulta $P : P' :: V : V'$; pero si $P=P'$, se tendrá $V' : V :: D : D'$; esto es, *á densidad igual, los pesos son proporcionales á los volúmenes; y á peso igual, los volúmenes están en razon inversa de las densidades*.

CAPÍTULO IX.

DEL PESO ESPECÍFICO DE LOS CUERPOS.

53. Llámase *peso relativo* de un cuerpo la relacion de su peso absoluto al peso de otro cuerpo tomado por unidad. En el sistema métrico se toma por unidad el gramo, ó sea el peso de un centímetro cúbico de agua destilada bajo la presion atmosférica, en el nivel del mar ó sea de 76 centímetros y á 4 grados de temperatura, ó sea en

su máximo de densidad. El peso relativo de los cuerpos se suele obtener por medio de la balanza; pues si para equilibrar un cuerpo puesto en uno de sus platillos se necesita poner en el otro 50 gramos *p. ef.* se dice que este cuerpo pesa 50 gramos.

54. Por peso específico entendemos la relacion del peso de un cuerpo en un determinado volúmen y temperatura, al peso de otro cuerpo de igual volúmen y temperatura tomado por unidad. Suélese tomar el agua destilada en su mayor densidad por punto de comparacion. Y como el peso de un cuerpo, ó sea, su masa, en un determinado volúmen constituye su densidad (25) así, el peso específico no es otra cosa que la relacion de las densidades de los cuerpos.

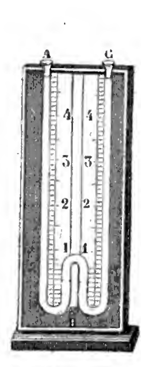
55. Hay varios métodos para obtener el peso específico de los cuerpos. Pésese una botella con tapon esmerilado llena de mercurio, luego pésese separadamente el mercurio, la diferencia de los dos pesos será el peso de la botella. Pesando ahora en esta botella diferentes líquidos, y del peso obtenido quitando el peso de la botella se tendrá el peso de los solos líquidos en igual volúmen. Para comparar estos pesos con el del agua destilada, se formará la proporcion siguiente: p (peso del agua) : P (peso del otro líquido) :: 1 : $x = \frac{P}{p}$. Este método puede tambien servir para los gases, usando las precauciones que se indicarán en el tratado del calórico, núm. 664.

56. Si el cuerpo es sólido primero se pesa, luego se pesa junto con la botella llena de agua destilada, despues se mete el sólido dentro de la botella, lo que no puede hacerse sin que se derrame un volúmen igual de líquido, y finalmente, se vuelve á pesar: la diferencia de los dos últimos pesos es el peso del agua derramada de igual volúmen que el sólido. Luego se forma la proporcion como antes, comparando el peso del agua derramada con él del sólido. En este método es necesario servirse de un líquido, que ni sea absorbido por el sólido, ni este se disuelva en el líquido.

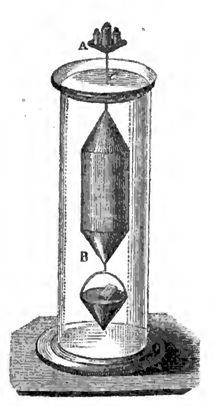
57. Otro método se funda en el principio de hidráulica (número 239) que las alturas de los líquidos en los vasos comunicantes están en razon inversa de sus densidades ó pesos específicos. Al efecto se hace uso de un tubo ABC (fig. 9) que tiene en su parte inferior una curvatura B para impedir que los líquidos se mezclen. Echando un líquido en cada brazo, de modo que los niveles inferiores estén en la misma horizontal, la razon inversa de los números que miden las alturas en los brazos graduados, será la razon de los pesos específicos de los líquidos.

58. Finalmente otro método suministra el principio llamado de Arquimides (núm. 241), á saber, que un sólido sumergido en un líquido pierde una parte de su peso igual al peso del volúmen líquido que desaloja. Se pesa pues un sólido, primero en el aire, y luego en

el agua, la diferencia de estos dos pesos es el peso de igual volúmen de agua, y se forma la proporcion, como queda dicho (núm. 55). Esta operacion se ejecuta ó con la balanza, ó con un instrumento llamado *Areometro de Nicholson* (fig. 10), que consiste en un tubo cerrado de metal ó de vidrio: en su parte superior A tiene un platillo, donde colocar el cuerpo, que se pesa en el aire, y en la inferior B un vasito donde poner el cuerpo, cuando está dentro del agua. Ponien-



(Fig. 9.)



(Fig. 10.)

do los pesos convenientes en A, se hace sumergir el instrumento hasta un índice C, luego en vez de los pesitos se pone el cuerpo, añadiendo los pesos necesarios para que el instrumento vuelva á sumergirse hasta el índice C, y así se conoce el peso del cuerpo en el aire; en seguida se pasa el cuerpo al vaso B, y como pierde una parte de su peso, igual al peso del agua, cuyo lugar ocupa, es necesario añadir al platillo A un nuevo peso, el cual será el peso del volúmen de agua desalojada. Luego se forma la proporcion como antes se ha dicho.

59. La siguiente tabla da á conocer la densidad ó peso específico de muchos metales y de otros cuerpos que tienen un uso frecuente en las artes é industria. Dichos cuerpos se suponen á cero grados de temperatura.

SÓLIDOS SIMPLES.	PESO ESP.	SÓLIDOS COMPUESTOS.	PESO ESP.	LÍQUIDOS.	PESO ESP.
Platino laminado.	22,06	Aleacion de Darcet. .	9,79	Agua destilada. .	1,00
Oro fundido. . .	19,26	Bronce de cañones. .	8,44	Mercurio. . . .	13,00
Iridio.	18,68	Laton.	8,42	Bromo.	2,97
Tungsteno. . .	17,60	Acero templado. . .	7,82	Acido sulfúrico. .	1,84
Plomo fundido. .	11,35	Peróxido de Manganeso.	4,48	Acido nítrico. . .	1,45
Plata fundida. .	10,47	Esmeril (Alumina). .	3,90	Sulfuro de carbono	1,26
Bismuto. . . .	9,82	Cal.	3,15	Acido clorídico líquido.	1,21
Cobre laminado..	8,95	Mármol.	2,71	Acido acético. . .	1,08
Cadmio. . . .	8,69	Cristal de roca. . .	2,65	Leche.	1,03
Nikel fundido. .	8,28	Vidrio comun. . . .	2,45	Agua del mar. .	1,03
Cobalto fundido.	7,81	Yeso.	2,33	Vino de Málaga. .	1,02
Hierro fundido. .	7,79	Sal-gema.	2,26	Vino Clarete. . .	0,99
Estaño.	7,29	Marfil.	1,92	Aceite de olivas. .	0,91
Zinc.	7,19	Antracita.	1,34	Esencia de trementina.	0,87
Antimonio. . .	6,72	Asfalto.	1,06	Aguardiente. . .	0,84
Telurio. . . .	6,24	Hielo.	0,93	Nafta.	0,81
Cromo.	5,90	Piedra Pomez. . . .	0,91	Alcohol *absoluto*. .	0,79
Arsénico. . . .	5,67	Maderas. Caoba. . . .	1,06	Eter sulfúrico. . .	0,74
Yodo..	4,95	Maderas. Olivo.. . . .	0,93		
Selenio	4,30	Maderas. Haya.. . . .	0,81		
Carbon (Diamante). . . .	3.53	Maderas. Manzano. . .	0,79		
Aluminio fundido.	2,56	Maderas. Cerezo. . . .	0,71		
Azufre.	2,07	Maderas. Nogal.. . . .	0,67		
Fósforo.. . . .	1,77	Maderas. Cipres. . . .	0,64		
Magnesio. . . .	1,74	Maderas. Pino.	0,55		
Sodio.	0,97	Maderas. Carbon vejetal.	0,44		
Potasio.	0,86	Maderas. Corcho. . . .	0,24		

LIBRO II.

MECÁNICA DE LOS SÓLIDOS.

CAPÍTULO PRIMERO.

NOCIONES PRELIMINARES.

60. Un cuerpo se dice que está *en reposo*, cuando constantemente ocupa el mismo lugar del espacio ; y en movimiento, cuando cambia de lugar, y corresponde á diferentes puntos del espacio. El movimiento es absoluto y relativo : *absoluto* es cuando el cuerpo toma sucesivamente diferentes posiciones en el espacio ; *relativo*, cuando muda de lugar con relacion á otros, que se suponen no moverse relativamente á él. Así tambien el reposo puede ser absoluto ó relativo ; será *absoluto* cuando el cuerpo ocupa el mismo punto del espacio y *relativo* cuando conserve la misma posicion con respecto á otros. El espacio absoluto se concibe como indefinito, y sin relacion á objeto alguno : el espacio relativo está determinado y tiene relacion con los cuerpos que hay en él.

61. En el movimiento se deben considerar seis cosas, á saber : la fuerza que causa el movimiento, que se llama *fuerza motriz*, la masa del cuerpo que se mueve, el espacio que corre el móvil, el tiempo que emplea, las leyes que constantemente observa en su movimiento y los obstáculos que encuentra.

62. Se llama *fuerza motriz* todo lo que cambia ó tiende á cambiar el estado de un cuerpo en reposo, ó en movimiento. La fuerza es *momentánea* ó de *impulsion*, si obra sobre el cuerpo por un solo instante y luego lo abandona á sí mismo, y *continuada*, si lo solicita todo el tiempo del movimiento. Entre las principales fuerzas se cuentan, la fuerza de los animales, la de percusion en el choque de los cuerpos, la atraccion universal y molecular, la fuerza elástica, la fuerza calorífica y la fuerza eléctrica. En toda fuerza se deben distinguir tres cosas, que son, el *punto de su aplicacion*, *su direccion*, ó sea, la línea recta segun la cual tiende á producir el movimiento, y su *intensidad*, que es la energía de la misma fuerza.



63. La *masa* de un cuerpo es la cantidad de materia que contiene Tratando puramente del movimiento, se hace abstraccion de las dimensiones del cuerpo, y no se considera mas que el movimiento de uno de sus puntos enlazado íntimamente con los demás.

64. El *espacio* que describe el cuerpo es la longitud del camino que ha corrido, que por esto puede representarse por una línea, la cual será recta ó curva, segun que el movimiento es *rectilíneo, ó curvilíneo*. La *direccion* del movimiento es la posicion de esta línea; si el movimiento es rectilíneo, la direccion será la misma línea recta corrida; pero si el movimiento es curvilíneo, la direccion será la tangente, á aquel punto de la curva, donde el móvil se halla entonces.

65. El *tiempo* es la duracion del movimiento, y se concibe como producido por el flujo del instante, que es su orígen ó elemento. El tiempo se mide refiriéndolo á un cierto movimiento que se toma por unidad, y que se supone siempre igual y uniforme, como p. ej. el curso aparente del sol, del cual se deducen las medidas de año, dia, hora, minuto, segundo, etc.

66. Los cuerpos en sus movimientos observan las leyes siguientes: *Todo cuerpo conserva su estado de reposo, ó de movimiento rectilíneo y uniforme, si no es que una fuerza estrínseca le obligue á cambiarlo;* pues siendo el cuerpo inerte, no puede de sí mismo variar el estado que tiene, ni su movimiento, ni la direccion que tiene. Por lo que, *el cambio de estado es proporcional á la fuerza motriz*, porque de ella es enteramente producido. Los cuerpos por su inercia oponen una cierta resistencia al cambio de su estado, que es tanto mayor, cuanto mayor es su masa, destruyendo así una parte de la fuerza, proporcional á la misma masa. Esta parte de fuerza destruida se llama *accion* y la resistencia opuesta por el cuerpo *reaccion*, por lo que *la accion es igual y contraria á la reaccion.*

67. Los obstáculos que se oponen al movimiento son las resistencias que hacen los cuerpos, entre los cuales se debe mover un móvil: los principales son la *impenetrabilidad* de todos los cuerpos y el roce.

68. No conociendo la naturaleza intrínseca de las fuerzas, solamente podemos apreciarlas por el efecto que producen. Este efecto consiste en comunicar á cada molécula material del cuerpo una cierta velocidad, por lo que la medida de este efecto será la velocidad comunicada á todos los puntos de la masa, ó sea el producto de la masa por la velocidad, el cual producto toma el nombre de *cantidad de movimiento*, del cuerpo. Así espresando por F una fuerza, por M la masa del cuerpo y por V la velocidad comunicada, será $F=MV$. Para otra fuerza f que comunica la velocidad v á la masa m será $f=mv$: y comparando las dos ecuaciones, se tendrá $F:f::MV:mv$, que espresa que las *fuerzas motrices son proporcionales á las cantidades de movimiento que producen*. Por lo que haciendo sucesivamente $V=v$,

$M=m$, $F=f$, resultan $F:f::M:m$; $F:f::V:v$; $V:v::m:M$; lo que espresa que las fuerzas motrices son como las masas, si las velocidades son iguales, y como las velocidades, si las masas son iguales; pero si las fuerzas son iguales, las velocidades están en razon inversa de las masas solicitadas.

69. Si muchas fuerzas á la vez solicitan un cuerpo ó un sistema de cuerpos, podrá suceder, que de tal modo se impidan las unas á las otras, que no resulte movimiento alguno. En este caso se dice que dichas fuerzas se *equilibran*. Sean pues dos solas fuerzas las que se equilibran, solicitando el cuerpo en sentido opuesto, por necesidad dichas fuerzas serán iguales; pero si estas fuerzas iguales aplicadas á un punto conspiran en una misma direccion, se tendrá una fuerza doble, y así se podrá tener una fuerza triple, cuádrupla, etc.; por lo que dichas fuerzas se podrán espresar por números y tambien representar por líneas rectas proporcionales á los mismos números, que tengan la direccion de estas fuerzas.

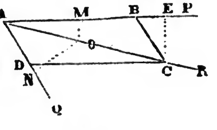
70. La *Mecánica* es, pues, la ciencia que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos, y se divide en *Estática* y *Dinámica*: la primera se ocupa del equilibrio, y la segunda del movimiento.

CAPÍTULO II.

DE LA COMPOSICION Y RESOLUCION DE LAS FUERZAS CONVERGENTES.

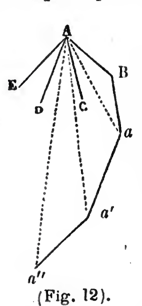
71. No pudiéndose mover un punto material al mismo tiempo por diferentes direcciones, si está solicitado simultáneamente por muchas fuerzas, se moverá como si fuese solicitado por una sola, que lo empujase por la línea, que efectivamente describe. Esta fuerza única se llama *resultante* de todas las que solicitan al cuerpo, y estas se dicen *componentes*; y hallar la resultante, dadas las componentes, toma el nombre de *composicion* de las fuerzas, y dada la resultante hallar sus componentes, se dice *resolucion* de las fuerzas.

72. *La resultante de dos fuerzas homogéneas convergentes y que se representan por rectas tomadas sobre su direccion, está representada en magnitud y direccion por la diagonal del paralelogramo construido sobre dichas rectas.* Porque sea el punto material A (fig. 11), solicitado al mismo tiempo por las dos fuerzas P y Q representadas por AB y AD en magnitud y direccion. La fuerza P tiende á llevar el punto A por la direccion AB hácia BC, y como la fuerza Q es paralela á la recta BC, por su ac-



(Fig. 11).

cion no puede acercar, ni alejar el punto A de la misma línea BC, por lo que debiendo llegar el móvil á dicha línea por la accion de la fuerza P, realmente llegará, obre, ó no la fuerza Q. Del mismo modo se demostrará que el punto A llegará á la recta DC en virtud de la fuerza Q, obre ó no la fuerza P, paralela á la recta DC: luego el móvil A solicitado simultáneamente por ambas fuerzas debiendo llegar tanto á la recta BC como á la recta DC, se hallará en el punto C comun á entrambos. Pero quedando el móvil abandonado á sí mismo despues del impulso recibido, deberá continuar su movimiento con la misma velocidad y direccion, que lo comenzó, y así habrá descrito la diagonal AC del paralelogramo ABCD construido sobre las rectas AB y AD que representan las fuerzas P y Q.



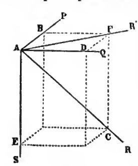
(Fig. 12).

73. Siendo el efecto de las dos fuerzas P y Q igual al de la resultante R representada por AC; á las componentes P y Q podrá substituirse su resultante R, y al revés, en lugar de la sola fuerza R se podrán substituir las dos componentes P y Q. Por lo que si un móvil A (fig. 12), está solicitado por muchas fuerzas AB, AC, AD, AE, etc., puestas en un mismo plan, se tendrá la resultante de todas componiendo primero las dos AB y AC, luego su resultante Aa y AD en seguida la resultante Aa', y AE, y así adelante.

74. Cada una de las tres P, Q y R de las cuales una es resultante de las otras dos puede representarse por el seno del ángulo formado por la direccion de las otras dos: en efecto (fig. 11), R : P : Q :: AC : AB : AD, pero AC : DC (=AB) : AD:: sen. ADC : sen. DAC : sen. ACD; y sen. ADC=sen. DAB, sen. ACD=sen. BAC, luego R : P : Q :: sen. DAB : sen. DAC : sen. BAC. Y como el seno de un ángulo en el triángulo rectángulo es igual al lado opuesto dividido por la hipotenusa, se tendrá : P : Q :: $\frac{ON}{AO}$: $\frac{OM}{AO}$ :: ON : OM; esto es, *dos cualesquiera de las tres fuerzas están en razon inversa de las perpendiculares tiradas sobre su direccion desde un punto cualquiera de la tercera.*

75. La resultante R de las dos fuerzas P y Q puede espresarse por medio de estas fuerzas, y del ángulo formado por sus direcciones; porque llamando x al ángulo BAD ó su igual PBC, se tendrá $R^2=P^2+Q^2-2PQ\ \cos.ABC=P^2+Q^2+2PQ\ \cos.x$; llamando B al ángulo BAC, y tirada la perpendicular CE, la direccion de la resultante se tendrá por la ecuacion $tg.B=\frac{CE}{AE}=\frac{Q\ \text{sen}.x}{P+Q\ \cos.x}$: así si $x=o$ será $R=P+Q$, $tg.B=o$; puesto $x=90^0$, se tendrá $R=\sqrt{P^2+Q^2}$, $tg.B=\frac{Q}{P}$ y si $x=180^0$, será $R=P-Q$, $tg.B=o$.

76. *La resultante de tres fuerzas homogéneas aplicadas á un punto material, y puestas en planos diferentes, está representada en magnitud y direccion por la diagonal del paralelepípedo construido sobre las rectas, que representan dichas fuerzas.* Porque sean (fig. 13), AB, AD, AE las rectas que representan las fuerzas P, Q, S, y constrúyase el paralelepípedo ABFC sobre ellas; las fuerzas P y Q darán la resultante R′ representada por la diagonal AF, y como FC es igual y paralela á la recta AE, AFCE será un parelelógramo cuya diagonal AC, que lo es del paralelepípedo, representará la resultante R de las fuerzas R′ y S, ó sea P, Q y S.



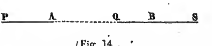
(Fig. 13).

77. Fácil pues será componer un número cualquiera de fuerzas colocadas en diferentes planos, y que actuan sobre un punto, como tambien resolver una fuerza R aplicada en un punto A en tres, que se dirijan segun tres rectas AB, AD, AE colocadas como se quiera, pues tirando por el punto C tres planos paralelos á los planos BAD, BAE, DAE determinados por las direcciones de las tres fuerzas, el paralelepípedo que resulta tendrá por diagonal AC, y las rectas AB, AD, AE representarán las tres fuerzas.

CAPÍTULO III.

DE LA COMPOSICION Y RESOLUCION DE LAS FUERZAS PARALELAS.

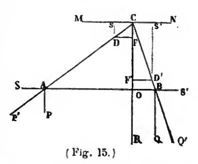
78. Una fuerza P (fig. 14), aplicada á un punto A puede trasportarse á otro punto B íntimamente enlazado con el primero. A este fin unidos los dos puntos con una recta AB, y aplicando al punto B en esta direccion las fuerzas Q y S iguales á la fuerza P y contrarias entre sí, el efecto de las tres fuerzas P, Q, S será el mismo que el de la sola fuerza P; pero obrando las dos fuerzas P y S en sentido opuesto y con igual intensidad sobre el sistema invariable AB, su efecto quedará destruido, y así solo se tendrá la fuerza Q igual á P, aplicada al punto B.



(Fig. 14.)

79. *La resultante de dos fuerzas paralelas que obran en un mismo sentido, es paralela á la direccion de las fuerzas, igual á su suma, y divide á la recta de aplicacion en partes recíprocamente proporcionales á*

las componentes. (Fig. 15). Porque sean P y Q las dos fuerzas paralelas aplicadas á los puntos A, B, unidos entre si por la recta AB, el efecto de estas fuerzas quedará invariable, aplicando á los extremos de la recta AB dos fuerzas iguales y contrarias, cuya intensidad se representa por S y S'; componiendo las dos fuerzas P y S aplicadas al punto A, como tambien las dos fuerzas Q y S' aplicadas al punto B, sus resultantes AP' y BQ', no siendo paralelas, se encontrarán en un punto comun C, al cual podrán aplicarse (78). En este punto C tírense dos rectas indefinidas MN y CR respectivamente paralelas á la recta AB y á la direccion de las fuerzas P y Q, y resuélvanse las fuerzas P', Q' segun estas paralelas, resultarán las mismas cuatro fuerzas que antes, pero aplicadas á un solo punto C, de las cuales las dos S y S' iguales y contrarias quedarán destruidas, quedando solamente las fuerzas P y Q dirigidas segun la misma línea CR; luego su resultante es paralela á estas fuerzas é igual á su suma (69). Ahora las fuerzas P y S representadas por los lados CF y DF del triángulo CDF semejante al triángulo CAO, dan P : S :: CF : DF :: CO : AO; así tambien las fuerzas Q y S' representadas por los lados CF' y CD' del triángulo CD'F' semejante al triángulo COB dan S' : Q :: D' F' : CF' :: OB : CO; multiplicando ordenadamente los términos de las dos proporciones, resulta P×S' : Q×S :: CO×OB : CO×AO, ó sea, P : Q :: OB : AO; que expresa la tercera parte del anunciado: y siendo esta proporcion independiente del ángulo que la recta AB hace con las paralelas AP, BQ, vale para cualquiera otra recta tirada por el punto O y que termine en las mismas paralelas.



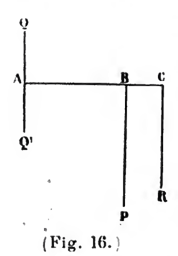
(Fig. 15.)

80. Componiendo la precedente proporcion, se tendrán P : P+Q :: OB : AO+OB, ó sea P : R :: OB : AB; de donde P: Q: R:: OB: AO: AB; esto es, ***cada una de las tres fuerzas es proporcional á la porcion de recta de aplicacion interceptada por las otras dos fuerzas.***

81. Queriendo resolver una fuerza R en dos paralelas y en el mismo sentido, una de las cuales P, esté aplicada al punto A, la otra será igual R—P=Q, y su punto de aplicacion se tendrá por la proporcion Q : P :: AO : $x=\frac{P.AO}{Q}$. Si la fuerza R se tuviese que descomponer en dos aplicadas á los puntos A y B, se formarían las dos proporciones, AB : BO :: R : $P=\frac{R.BO}{AB}$; AB : AO :: R : $Q=\frac{R.AO}{AB}$.

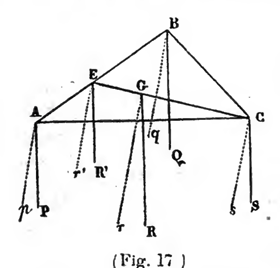
4

82. Para hallar la resultante de dos fuerzas paralelas y en sentido opuesto, de las cuales P> Q (fig. 16), se resolverá la mayor P en dos paralelas Q' y R, de las cuales Q'=Q se aplicará al punto A, y se tendrá P=Q'+R=Q+R de donde R=P—Q, y esta fuerza R necesariamente se deberá aplicar á un punto C mas allá del punto B: pero las dos fuerzas Q' y Q iguales y contrarias mutuamente se destruyen, luego queda la sola fuerza R=P— Q, que por tanto será su resultante. Si las dos fuerzas paralelas y contrarias fuesen iguales, se tendrá R=P—Q=0, esto es, no habria resultante. Estas dos fuerzas iguales y contrarias, pero aplicadas á distintos puntos de una recta toman el nombre de *par de fuerzas*, cuyo efecto es de hacer girar la misma recta sobre sí misma, de modo que para el equilibrio, es necesario destruir separadamente el efecto de cada fuerza, por medio de otra igual y directamente opuesta.



(Fig. 16.)

83. *En un sistema de puntos de forma invariable solicitado por fuerzas paralelas, el punto de aplicacion de la resultante es siempre el mismo, cualquiera que sea la direccion que tomen las componentes, con tal que conserven su paralelismo.* En efecto (fig. 17), las dos fuerzas P y Q paralelas aplicadas á los dos puntos A y B del sistema invariable, dan una resultante igual á P+Q, cuya direccion pasa por un puntoE, de modo que se tenga la proporcion P: Q:: BE : EA; así tirada la recta EC las fuerzas S y R'=P×Q aplicadas á los puntos E y C del sistema dan R=P+Q+S y su direccion pasa por un punto G, de modo que se tenga la proporcion R' : S :: GC : GE; ahora cualquiera otra direccion que tomen las mismas fuerzas, conservando su paralelismo, darán las mismas resultantes, y por consiguiente estas estarán aplicadas á los mismos puntos que antes. Luego la resultante final deberá pasar por el mismo punto G. Este punto, por el cual pasa constantemente la resultante de las fuerzas paralelas, se llama *centro de las fuerzas paralelas*.



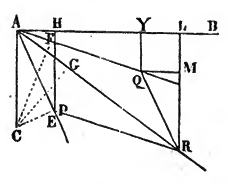
(Fig. 17)

CAPÍTULO IV.

TEORÍA DE LOS MOMENTOS DE LAS FUERZAS.

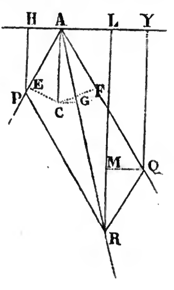
84. Para obtener el equilibrio entre dos fuerzas, no es siempre necesario que sean iguales y opuestas, sino que basta, que los efectos que tienden á producir sean opuestos, y los esfuerzos iguales, lo que se obtiene por medio de un punto fijo, al rededor del cual las fuerzas tienden á producir el movimiento. El producto de una fuerza por la perpendicular tirada desde el punto fijo sobre su direccion, se llama *momento* de la fuerza, porque mide su magnitud relativa.

85. *El momento de la resultante de dos fuerzas con relacion á un punto fijo, es igual á la suma ó á la diferencia de los momentos de sus componentes, segun que el punto fijo se halla fuera ó dentro de la direccion de las mismas componentes.* Sean en primer lugar las fuerzas convergentes (fig. 18) P y Q, y R su resultante, aplicadas al punto A, y desde el punto fijo C tírense las perpendiculares CE, CF, CG. Unido el punto C con el punto A con la recta inflexible AC, y tirada la perpendicular AB, desde los puntos P, Q, R, bájense sobre ella las normales PH, QY, RL, y finalmente tírese QM, paralela á AB: los triángulos iguales AHP y QMR dan QM = AH, y así AL = AY + AH; pero siendo semejantes los triángulos CAG, RAL, será



(Fig. 18).

$AC : CG :: AR : AL = \frac{AR.\,CG}{AC}$; así tambien los triángulos semejantes CAE, PAH dan $AC : CE :: AP : AH = \frac{AP.\,CE}{AC}$, y los triángulos semejantes CAF, QAY dan $AC : CF :: AQ : AY = \frac{AQ.\,CF}{AC}$: substituyendo estos valores en la ecuacion precedente, y quitando el denominador comun, queda $AR.CG = AQ.CF + AP.CE$. Si el punto C se halla dentro de la direccion de las fuerzas (fig. 19), hecha una semejante construccion, se tendrá $AL = AY - AH$, y así será $AR.CG = AQ.CF - AP.CE$.



(Fig. 19).

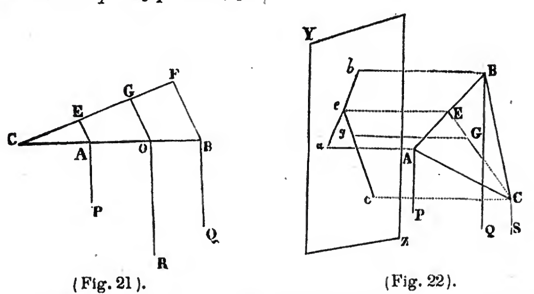
86. Los mismos resultados se obtienen si las fuerzas P y Q son paralelas, porque desde el punto fijo C (fig. 20), no comprendido entre sus direcciones, tirada la perpendicular CB, el punto O de

aplicacion de la resultante da $P.AO=Q.OB$ (79), pero $AO=CO-CA$ y $OB=CB-CO$, luego $P(CO-CA)=Q(CB-CO)$, de donde $(P+Q)CO=P.CA+Q.CB$. Pero si el punto C estuviese entre la direccion de las fuerzas, seria $AO=AC+CO$, $OB=CB-CO$, luego $P(AC+CO)=Q(CB-CO)$, de donde $(P+Q)CO=Q.CB-P.AC$.

(Fig. 20).

87. Llamando pues á las respectivas normales r, p, q, se tendrá en general $R.r=P.p\pm Q.q$. Concibiendo que estas normales sean rectas inflexibles unidas de tal modo entre sí, que puedan girar al rededor del punto fijo, las fuerzas aplicadas á estas rectas tenderán á hacer girar todo el sistema al rededor del mismo punto hácia una misma parte, ó en sentidos opuestos, segun que el punto fijo está fuera ó dentro de la direccion de las fuerzas. Por lo que si el punto fijo cae en la direccion de la resultante, siendo $r=o$, tambien $P.p-Q.q=o$, y el sistema quedará en equilibrio.

88. Si tres ó mas fuerzas solicitan el sistema en el mismo plano, llamando R' la resultante de las dos primeras, se tendrá $R'.r=P.p\pm Q.q$, y llamando R la resultante de R' y de la tercera, será $R.r=R'.r'\pm S.s=P.p\pm Q.q\pm S.s$; y así sucesivamente.



(Fig. 21).   (Fig. 22).

89. *El momento de la resultante de dos fuerzas paralelas con relacion á un eje colocado en su plano, es igual tambien á la suma ó á la diferencia de los momentos de las componentes* (Fig. 21). Desde los puntos A, B, O de aplicacion de las fuerzas tírense sobre el eje las normales AE, OG, BF, y se tendrá $\frac{CA}{AE}=\frac{CO}{OG}=\frac{CB}{BF}=n$, de donde $CA=n\times AE=p$, $CO=n\times OG=r$, $CB=n\times BF=q$, y sustituyendo estos valores en la ecuacion general (87), será $R.OG=P.AE\pm Q.BF$.

90. Por medio de los momentos se puede determinar la posicion del centro de las fuerzas: porque si suponemos un sistema de cuerpos A, B, C, (fig. 22) unidos invariablemente entre sí, y solicitados por las fuerzas paralelas P, Q, S, tirando al plano YZ las normales Aa, Bb, Cc, se tendrá $Ee=\frac{P.Aa+Q\ Bb}{P+Q}$, cuyo segundo miembro conocido nos da la distancia Ee del centro E de las dos fuerzas P y Q al plano. Ahora unidos los puntos E y C se tendrá $Gg=\frac{P.Aa+Q.Bb+S.Cc}{P+Q+S}$, que nos determina la distancia G*g* del centro de las tres fuerzas al plano.

CAPÍTULO V.

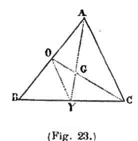
DEL CENTRO DE GRAVEDAD.

91. La esperiencia enseña, que todos los cuerpos abandonados á sí mismos caen verticalmente sobre la superficie de la tierra, ó sea segun la direccion que toma un hilo tirado por un plomo en reposo, la cual direccion se halla ser perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas. Por lo que la fuerza, que causa esta caida llamada *gravedad* ó *pesantez*, en tanto se podrá considerar como paralela á sí misma, en cuanto la superficie sobre que caen, se considerará como físicamente plana. Además en el vacío los cuerpos emplean igual tiempo en caer de igual altura (50); de lo que se sigue que un cuerpo puede considerarse como un agregado de moléculas solicitadas por fuerzas iguales y paralelas, cuya resultante será el *peso* del cuerpo, y pasará constantemente por un mismo punto (83), que toma el nombre de *centro de gravedad*, al rededor de la cual se equilibrarán los esfuerzos iguales de todas las moléculas del cuerpo.

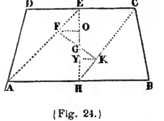
92. De lo dicho se deduce un método fácil de hallar mecánicamente el centro de gravedad de un cuerpo cualquiera, porque suspendido el cuerpo con un hilo sucesivamente por dos puntos, no podrá quedar en reposo, sino cuando la direccion del hilo, pasando por el centro de gravedad del cuerpo, destruirá el efecto de su peso; por lo que concibiendo prolongadas las dos direcciones del hilo por el interior del cuerpo, el punto donde se cruzarán será el centro buscado.

93. Hay algunos casos en que se puede conocer inmediatamente el centro de gravedad. En una línea recta compuesta uniformemente de partes igualmente pesadas, el centro es su punto medio. En el paralelogramo es el punto, donde se cruzan sus diagonales, ó el punto medio de una de ellas. En el círculo es el centro del mismo. En el paralelepípedo es el punto en que se cruzan las diagonales, ó el punto medio de una de ellas. En el cilindro es el punto medio de la longitud del eje. Finalmente en la esfera es el centro de la misma.

94. En el triángulo el centro de gravedad se halla á dos tercios de la recta que desde uno de sus vértices se tira á la mitad de la base opuesta. En efecto la recta AY (fig. 23), tirada desde el vértice A á la mitad de la base BC, dividiendo por mitad el triángulo, pasará por su centro de gravedad; por la misma razon la recta CO tirada desde el vértice C á la mitad de la base AB pasará tambien por el mismo centro; por lo que este punto se hallará en G comun á ambas rectas; ahora tirada la recta OY que corta los lados AB y BC por mitad, resultan los triángulos GOY, GAC semejantes; por lo que AG : GY : : AC : OY : : BC : BY : : 2 : 1, y componiendo la proporcion, será AG : AG+GY : : 2 : 2+1 ; de donde AG=$\frac{2}{3}$AY.



(Fig. 23.)

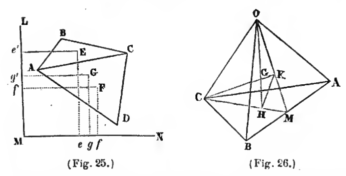


(Fig. 24.)

95. Si partiendo de la base mayor de un trapecio se toma sobre la recta, que une el medio de las dos bases, una cuarta proporcional, á la suma de estas bases, á esta suma aumentada de la base menor, y al tercio de la recta que une los puntos medios de dichas bases, se tendrá su centro de gravedad. La recta EH (fig. 24), que une el punto medio de las dos bases, dividiendo por mitad todas las rectas paralelas á estas bases, pasará por el centro de gravedad del trapecio. Además tiradas las rectas AE, CH, y tomando las terceras partes EF, HK, los puntos F, K serán los centros de gravedad de los respectivos triángulos ACD, ACB, y así en algun punto de la recta FK se hallará el centro de gravedad del trapecio, luego se hallará en el punto G de interseccion de las dos rectas EH, FK; tirando ahora las rectas FO, KY paralelas á las bases AB, CD, los triángulos semejantes FOG, GYK, dan FO : YK : : OG : YG; pero FO= $^1/_3$AH=$^1/_6$AB, YK=$^1/_3$ CE=$^1/_6$ CD, OG=OH−GH=$^2/_3$EH−GH, YG=GH−YH= GH−$^1/_3$EH, luego substituyendo estos valores en la proporcion precedente, será $^1/_6$ AB : $^1/_6$ CD :: $^2/_3$ EH − GH : GH−$^1/_3$ EH, multiplicando extremos y medios, se tendrá GH (AB+CD)=$^1/_3$ EH (AB+2 CD), de donde AB+CD : AB+2 CD : : $^1/_3$ EH: GH.

96. Queriendo hallar el centro de gravedad de un polígono cualquiera, por ej. ABCD (fig. 25), se dividirá el polígono en triángulos,

y se determinarán sus centros de gravedad E, F, (94), luego tirados en el plano del polígono los dos ejes ML, MN, desde los puntos E, F se bajarán normales sobre ellos, y representando por A, B, los pesos de los triángulos ABC, ACD se tendrá $Gg=\frac{A.\,Ee+B.\,Ff}{A+B}$, $Gg'=\frac{A.\,Ee'+B\,Ff'}{A+B}$, por lo que en la paralela á la recta LM distante de la cantidad Gg se hallará el centro de gravedad del polígono, como tambien en la paralela á la recta MN distante de la cantidad Gg', y así el punto G, donde se cortarán ambas paralelas, será el centro de gravedad buscado.



(Fig. 25.) (Fig. 26.)

97. El centro de gravedad de una pirámide triangular se halla á los tres cuartos de la recta, que desde uno de sus vértices se baja al centro de gravedad de la base opuesta. Bajada desde el vértice O de la pirámide OABC (fig. 26), al centro de la base ABC, la recta OH, esta pasará por el centro de gravedad de todas las secciones paralelas á la misma base; así tambien desde el vértice C bajada la recta CK al centro de la base ABO, tambien esta recta pasará por el centro de todas las secciones paralelas á la misma base ABO, luego la pirámide tendrá su centro de gravedad en el punto G, donde se cortan ambas rectas. Ahora tirada HK, que será paralela á la recta CO, los triángulos semejantes HKG, CGO, dan HG : GO : : HK : CO : : MH : MC : : 1 : 3, y componiendo la proporcion, será HG+GO : GO : : 1+3 : 3, de donde $GO=\frac{3}{4}(HG+GO)=\frac{3}{4}\,OH$.

98. El centro de gravedad de una pirámide cualquiera se hallará tambien á los $\frac{3}{4}$ de la recta tirada desde el vertice al centro de la base opuesta; porque pasando esta recta por los centros de todos los planos paralelos á la base, en ella estará el centro de la misma pirámide; pero el plano paralelo á la base, colocado á los $\frac{3}{4}$ del vértice, corta proporcionalmente todas las rectas tiradas desde el vértice á la base, luego este plano pasará por los centros de gravedad de las pirámides triangulares en que se resuelva la pirámide propuesta, y así en la interseccion de este plano con la recta tirada desde el vértice al

centro de la base, se hallará el centro de la pirámide. Y como el cono se puede considerar como una pirámide, que tiene por base un polígono de un número infinito de lados, tambien el centro de gravedad del cono se hallará á los tres cuartos de la recta, que desde su cúspide se tire al centro de la base

CAPÍTULO VI.

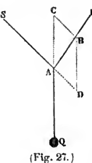
DE LAS MÁQUINAS.

99. Se llama *máquina* un instrumento cualquiera destinado á trasmitir la accion de una fuerza á un cuerpo, ó á un peso que se quiere mover. Por lo que la teoría acerca de las máquinas se reduce á determinar la condicion de equilibrio entre una fuerza y una resistencia, cuyo problema se resuelve, hallando en las máquinas un punto fijo, que se llama *punto de apoyo*, al rededor del cual se equilibran la fuerza denominada *potencia*, y el peso ú obstáculo que se quiere vencer, que toma el nombre de *resistencia*. Las máquinas se reducen á siete, á saber; la funicular, la palanca, la polea, el torno, el plano inclinado, la rosca y la cuña. Estas máquinas se llaman *simples* para distinguirlas de las que resultan de las diferentes combinaciones de las mismas, que se dicen *compuestas*.

ARTÍCULO PRIMERO.

MÁQUINA FUNICULAR.

100. La *máquina funicular* consiste en un sistema de cuerdas destinado á sostener un peso, ó á equilibrar diferentes fuerzas. Para su mejor inteligencia se supondrán las cuerdas perfectamente flexibles y no pesadas.



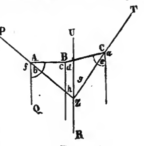
(Fig. 27.)

101. En la máquina funicular compuesta de tres cuerdas unidas en un nudo y tiradas por tres fuerzas, en caso de equilibrio *cada fuerza es proporcional al seno del ángulo formado por la direccion de las otras dos.* Sean las cuerdas AP, AQ, AS (fig. 27), tiradas por las fuerzas P, Q, S, para que queden en equilibrio es necesario que una de ellas, *por ej.* P sea igual y directamente opuesta á la resultante de las otras dos, para que destruya su efecto: por tanto resuélvase la fuerza P representada por AB en dos, una AD igual y opuesta á la fuerza S, la otra AC directamente opuesta á Q, que por esto le tendrá que ser tambien igual: luego será P : Q : S : : AB : AC : AD : : (74) sen.CAD (=sen.SAQ) : sen.DAB (=sen.SAP): sen.CAB (=sen.PAQ).

102. Si el nudo A es movible y la fuerza Q es un peso, en caso de equilibrio la direccion de la fuerza Q dividirá por mitad el ángulo SAP, puesto que no hay razon alguna para que el nudo deba correr

mas bien hácia una parte que á otra; luego se tendrá P : Q : : sen.SAQ (=sen.SAC= sen.½ SAP): sen.SAP ; pero sen.SAP=2 sen.½SAP.Cos.½ SAP, luego P : Q : : sen.½ SAP: 2 sen. ½ SAP. cos. ½ SAP:: 1: 2 cos. ½ SAP, esto es, *la potencia es al peso, como la unidad al doble coseno de la mitad del ángulo formado por la cuerda en el nudo.* Si las cuerdas son paralelas, será cos. ½ SAP=1 y así P: Q :: 1: 2; esta pues será la direccion mas ventajosa á la potencia.

103. En un sistema de nudos A, B, C, (fig. 28) tirados por las fuerzas P, Q, R, T, espresando las tensiones de las cuerdas AB, BC, por *m*, *m'*, en caso de equilibrio, se tendrá P : *m* : : sen.*b* : sen.*f*; *m* : *m'* : : sen.*d*: sen.*c*; *m'* : T : : sen.*a* .sen.*e*, y multiplicando por órden estas proporciones será P : T : : sen.*b* sen.*d* sen.*a* : sen.*f* sen.*c* sen.*e*; así pues si todas las fuerzas menos la primera P y la última T son pesos, el polígono PABCT y los pesos estando en un mismo plano vertical, los ángulos *b*, *c*, como tambien *d*, *e*, serán suplementarios, y así se tendrá P : T : : sen.*a* : sen.*f*. Luego tirando una vertical U desde el punto donde se encuentran las direcciones de las fuerzas P y T será sen.*f*=sen.*h*, sen.*a*=sen.*g*, por lo que P : T : : sen.*g* : sen.*h*. Por tanto se puede imaginar que el equilibrio de todo el sistema se reduzca á tres solas fuerzas aplicadas á las cuerdas, que forman un nudo Z, y que la potencia U sea la suma de todos los pesos, y así se tendrá: P : T : U : : sen.*g* : sen.*h* : sen.(*g*+*h*).



(Fig. 28.)

104. Considerando una cuerda pesada como un agregado de pequeños pesos, esta cuerda formará un polígono de un número infinito de lados, ó sea una curva llamada *Catenaria*, que estará en un plano vertical con las dos fuerzas aplicadas á sus estremidades en direcciones tangenciales á la misma curva. De lo que se sigue, que una cuerda pesada no puede seguir jamás la direccion de una línea recta, sino en una posicion vertical, porque estando representado el peso de la cuerda por el seno del ángulo que hacen las dos fuerzas que la tiran, y no pudiéndose este peso reducir jamás á cero, tampoco dicho ángulo podrá llegar á ser igual á dos rectos.

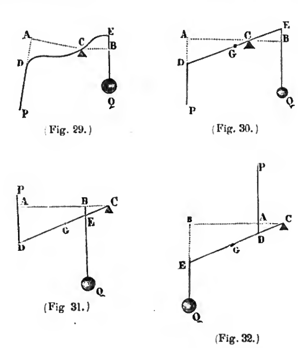
ARTÍCULO II.

PALANCA.

105. Se llama *palanca* una varilla inflexible recta ó curva que sirve para poner en equilibrio una potencia y una resistencia, por medio de un apoyo sobre el cual se mueve circularmente. Si el apoyo está entre la direccion de las fuerzas, la palanca se dice de *primer órden;* de *segundo,* si la resistencia está entre el apoyo y la potencia, y de *tercero*, si la potencia está entre el apoyo y la resistencia. En la palanca de primer órden las fuerzas obran en el mismo sentido y el apoyo en sentido opuesto: en la de segundo y tercer órden el apoyo obra en sentido opuesto al de la fuerza mas cercana.

106. En el equilibrio de la palanca *la potencia y la resistencia están en razon inversa de las perpendiculares tiradas desde el punto de apoyo á sus direcciones*. Cualquiera que sea el órden de palanca que se considere; para que haya equilibrio, es necesario que la resultante de la

potencia P (fig. 29, 30, 31 y 32) y de la resistencia Q pase por el apoyo C, para que quede destruida, por lo que segun la teoría de los momentos (87), se tendrá P. AC—Q.CB=o, de donde P: Q : : CB : AC.



(Fig. 29.) (Fig. 30.) (Fig 31.) (Fig. 32.)

107. La precedente demostracion, supone una palanca no pesada; pero si su peso fuese tal, que no pudiese despreciarse, entónces se considerará como una nueva fuerza aplicada al centro de gravedad de la misma palanca. Representado por G este peso, y por g su distancia al apoyo, se tendrá $P.AC-(Q.CB\pm G.\,g)=o$; se toma el signo + en la palanca de segundo y de tercer órden, y tambien en la de primer órden, cuando el centro de la palanca cae por la parte de la resistencia.

108. Puesto que en la palanca de primer órden es $P=\frac{Q.CB\pm G.g}{AC}$ (fig. 29), cuanto mayor sea AC, tanta menor fuerza se necesitará para equilibrar ó vencer una resistencia. Así no hay peso, por grande que sea, que no pueda equilibrarse con una potencia cualquiera. Si G coincide con el punto C de apoyo, el peso de la palanca no producirá ningun efecto, porque siendo $g=o$, tambien $G\times g=o$, y así la palanca podrá considerarse como no pesada; pero si G cae por la par-

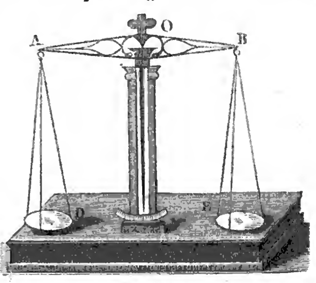
te de la resistencia, entónces la potencia deberá tambien sostener el peso de la palanca: finalmente si G cae por la parte de la potencia, de tal manera podrá favorecer su efecto, que tal vez el solo peso de la palanca baste para equilibrar la resistencia, lo que sucederá cuando $G.g=Q.CB$.

109. En la palanca de segundo órden su peso siempre es contrario á la potencia, y así aumentando la longitud de la palanca, mientras por un lado se favorece la potencia, por otro se la daña; por lo que tanto la longitud demasiado grande, como demasiado pequeña es desventajosa á la potencia.

110. En la palanca de tercer órden (fig. 32), siendo $P.AC=Q.CB+G.g$ y además $CB > AC$, la potencia siempre debe ser mayor que la resistencia, y así esta clase de palancas es siempre desfavorable á la potencia.

111. En un sistema de palancas de tal manera dispuesto, que lo que hace de resistencia en una, sirva de potencia para la inmediata, *el producto de la potencia por los brazos de las palancas que están de su parte es igual al producto de la resistencia por los brazos que están de la misma parte de la resistencia.* Porque llamando a, a', a'',... los brazos vueltos hácia la potencia, y b, b', b'',... los vueltos hácia la resistencia, se tendrá $P.a=b.S$; $S.a'=b'.S'$; $S'.a''=b''.Q$, siendo S la resistencia en la primera palanca, S' en la segunda, Q en la tercera,...; multiplicando entre sí las ecuaciones resulta $P.a.a'.a''...,=Q.b.b'.b''...$

112. Entre las palancas de que se hace mayor uso en la sociedad merece particular mencion la *balanza*. Hay diferentes especies de balanzas; unas sirven para equilibrar pesos iguales, en otras el equilibrio se obtiene con contrapesos menores, ó bien, constantes. La balanza comun (fig. 33), es una palanca AOB de primer órden, en que se deben equilibrar dos cantidades iguales de masa, una que es el cuerpo, ó mercadería que quiere pesarse, y otra un peso conocido llamado *contrapeso*. Para que se pueda prescindir del peso de la balanza, es necesario que su centro de gravedad esté en algun punto de la vertical, que pasa por el punto de suspension O; además siendo iguales las masas, tambien los dos brazos lo deben ser y los platillos igualmente pesados, de otra manera la balanza seria *falsa*, porque el plato correspondiente al brazo mas largo se equilibraria con el otro con menor

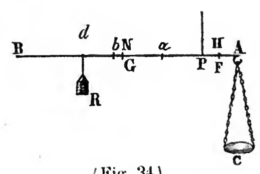


(Fig. 33.

carga (106). En tal caso para obtener el verdadero peso de la mercadería podrá servir cualquiera de los dos métodos siguientes: Póngase en uno de los dos platillos E la mercadería M, y en el otro platillo D un contrapeso C conocido que la equilibre, póngase luego la mercadería M en el otro platillo D y otro contrapeso C′ en el platillo E; por la primera operacion se tendrá M.OB=C.OA, y por la segunda será M.OA=C′.OB, por lo que multiplicando estas dos ecuaciones, y despejando M, resulta $M=\sqrt{C.C'}$. El segundo método consiste en equilibrar la mercadería con un peso cualquiera p. ej. arenilla, y luego en vez de la mercadería poner un peso conocido, que restablezca el equilibrio, el cual peso será el de la mercadería.

113. Las demás condiciones que debe tener una perfecta balanza son: 1.ª que la barra esté horizontal cuando los pesos colocados en los platillos son iguales, lo que se conoce por un índice, llamado *fiel*, fijo en el centro de suspension de la misma barra y perpendicular á ella, cuya extremidad libre corresponde á otro punto fijo, cuando se verifica esta condicion.—2.ª la balanza debe ser tan sensible, que por la mas pequeña variacion de peso se altere el equilibrio, lo que se obtiene disminuyendo el roce, cuanto se pueda. A este objeto el punto de suspension de la barra se construye de acero y en forma de cuchillo, cuyo corte se apoya sobre un plano de ágata ú otra piedra dura. 3.ª El equilibrio de la balanza debe ser *estable;* esto es, que pronto se restablezca el equilibrio, cuando ha sido movida, lo que se obtiene, haciendo que el centro de gravedad del sistema, se halle un poco debajo del centro de rotacion. Si el centro de gravedad estuviese sobre el punto de suspension, su equilibrio seria *inestable;* coincidiendo los dos centros, el equilibrio seria *indiferente;* pero hallándose debajo es *estable*.

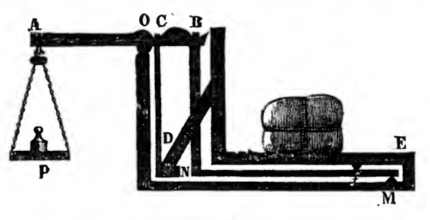
114. La balanza llamada *Romana* es una varilla uniforme sostenida por un punto no equidistante de sus extremos, al rededor del cual puede girar circularmente. En el brazo largo se hace correr un contrapeso llamado *pilon* que debe equilibrarse con la mercadería colocada en el brazo corto. Sea G (fig. 34), el peso del brazo PB, que se considera como reunido en su centro de gravedad N, y F el peso del brazo AP concentrado en el punto H; sea C el peso del platillo con todos sus adyacentes, y supongamos que para equilibrar la mercadería M sea necesario colocar el pilon R en el punto *d*, se tendrá: M.AP+F.HP+C.AP=R.*d*P+G.NP; pero para que de la romana cargada pueda deducirse el peso de la mercadería, es necesario que el instrumento quede en equilibrio sin la mercadería y el pilon, esto es, que se verifi-



(Fig. 34).

que F.HP+C.AP=G.NP ; quitando pues esta ecuacion de la precedente se tendrá M.AP=R.d P, de donde $M=\frac{dP}{AP}\times R$. Dividiendo ahora lá distancia dP en n partes iguales á la distancia AP, será dP=n.AP, y así M=n.R; luego si R es igual á una libra, y está colocado en b=2AP, será M=2 libras. Subdividiendo las partes iguales en otras menores *p. ej.* en 12, se podrán apreciar tambien las onzas. Si R=2 libras, cada division expresará dos libras, por lo que subdividida en veinte y cuatro partes, se tendrá tambien el peso de las onzas.

115. En las oficinas de los caminos de hierro y en muchas fábricas se hace uso de un aparato llamado *puente para pesar* inventado por Sanctorio, que ofrece notables ventajas. Este aparato (fig. 35), consta de dos palancas, una AOB de primer órden, y otra MfN de segundo: en un punto C de la primera se suspende una varilla CD, que sostiene una tabla ED apoyada en f, y sobre la cual está colocado el cuerpo que se pesa, por cuyo motivo su presion se distribuye por mitad sobre cada apoyo. Sea pues x el peso y z la fuerza necesaria para sostener su mitad aplicada al punto N, se tendrá $z:\frac{x}{2}::Mf:MN$ (106), de donde $z=\frac{x}{2}\times\frac{Mf}{MN}$. Llamando P al contrapeso necesario para equilibrar los dos pesos $\frac{x}{2}$, y z aplicados á los puntos D y N, cuyos esfuerzos se trasmiten á los puntos C y B, en la palanca BOA, se tendrá $P.OA=\frac{x}{2}\times OC+z.OB=\frac{x}{2}\times OC+\frac{x}{2}\times\frac{Mf}{MN}\times OB$. Sea por ejemplo $OC=\frac{OA}{10}$, $OB=\frac{OA}{2}$ y MN=5.Mf, resulta $P=\frac{x}{10}$, es decir que un peso cualquiera x se equilibra con un contrapeso P diez veces menor. Así si P=2,5 kilógr., la mercadería pesará 25 kilógramos. Si el contrapeso P con sus adyacentes se trasportase á una distancia doble, triple, etc. del punto O de apoyo, su momento seria doble, triple, etc.; así pues esta balanza puede trasformarse en la balanza romana, como no pocas veces se ve practicado.



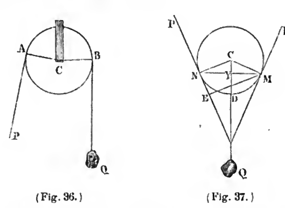
(Fig. 35).

ARTÍCULO III.

POLEA.

116. Se llama *polea* un cilindro de poco grueso, en cuya superficie convexa hay una garganta, por donde pasa la cuerda, en cuyos estremos están aplicadas la potencia y la resistencia. La polea se dice *fija*, cuando su centro es fijo, y *móvil*, cuando es trasportada, ó por la potencia ó por la resistencia.

117. *En la polea fija en caso de equilibrio, la potencia es igual á la resistencia.* En efecto, las dos fuerzas P y Q (fig. 36), que tiran el cordon, obran en los puntos respectivos A y B en direcciones tangenciales, y tienden á hacer girar la polea en sentidos opuestos al rededor del punto fijo C, luego en caso de equilibrio sus momentos serán iguales, esto es, $P.AC = Q.BC$; pero $AC = BC$ como radios, luego $P = Q$. Esta polea es muy útil, porque proporciona el medio de cambiar la direccion de las fuerzas.



(Fig. 36.) (Fig. 37.)

118. *En la polea móvil la potencia es á la resistenzia, como el radio de la polea es á la cuerda del arco que envuelve el cordon.* Sea la polea móvil (fig. 37), envuelta por un cordon fijo por una extremidad en un punto F, y tirado por la otra por una potencia P; la resistencia Q se aplica al centro de la polea por medio de una cajita representada por la línea CQ. La potencia P tiende á hacer girar la polea al rededor del punto F, cuya accion se trasmite por medio de la tension del cordon al punto de contacto M; pero la resistencia Q tiende á hacerle girar en sentido opuesto, luego sus momentos referidos al punto M deberán ser iguales en caso de equilibrio: tirando pues los radios CM, CN

á los puntos M N, en que el cordon se separa de la polea, y la cuerda MN, que quedará dividida por mitad por la direccion de la resistencia CQ, en cuanto que el cordon está igualmente tirado por una y otra parte, y finalmente tirada la perpendicular ME á la direccion de la potencia, se tendrá P.ME=Q.MY (87), de donde P : Q :: MY : ME. Los triángulos semejantes CMY, EMN, dan MY : ME : : MC : MN, luego P : Q :: MC : MN.

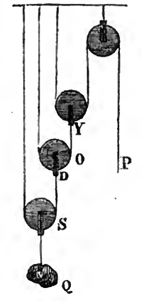
119. Llamando R al radio y C la cuerda circular, se tendrá en general $P=\frac{R}{C}\times Q$ y si $C=2R$, lo que supone las direcciones del cordon paralelas, resulta $P=\frac{Q}{2}$; si $C=R$, será $P=Q$; y si $C=o$ se tendrá $P=\infty$; y como la mínima relacion del radio á la cuerda es cuando esta se confunde con el diámetro, y la máxima cuando desaparece, se sigue que la mínima fuerza se empleará cuando la cuerda será igual al diámetro y la máxima cuando será cero.

120. Supongamos un sistema de poleas móviles (fig. 38), en el cual el cordon YO hace de resistencia en la primera polea, el cordon DS es la resistencia en la segunda y Q en la tercera, es decir, que lo que hace de resistencia en una, sirve de potencia en la siguiente: sean R, R′, R″, los radios de las poleas respectivas y C, C′, C″, las cuerdas correspondientes se tendrá

$$P=\frac{R}{C}\times YO, YO=\frac{R'}{C'}\times DS, DS=\frac{R''}{C''}\times Q;\text{ de donde}$$

$$P=\frac{R.R'.R''}{C.C'.C''}\times Q,\text{ ó sea } P : Q :: R.R'.R'' : C.C'.C'',$$

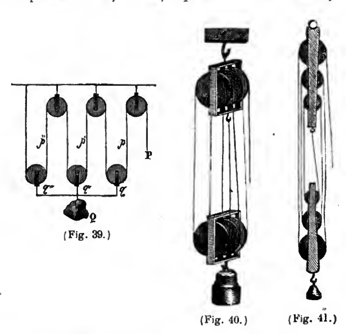
esto es, *en un sistema de poleas móviles la potencia es á la resistencia, como el producto de todos los radios es al producto de todas las cuerdas de los arcos envueltos por los cordones*. Por lo que si las direcciones de los cordones son paralelas, resultará $P=\frac{Q}{2^n}$, espresando n el número de las poleas móviles, esto es, *en un sistema de poleas móviles sostenido por cordones paralelos, la potencia es á la resistencia, como la unidad al número 2 elevado al grado indicado por el número de poleas móviles*.



(Fig. 38).

121. Si el sistema está compuesto de poleas fijas y móviles, de modo que un mismo cordon las envuelva á todas, las solas móviles sostendrán cada una una parte de la resistencia total Q (fig. 39); además en caso de equilibrio todas las partes del cordon estarán igualmente tirantes: sean g, g', g'', etc. las diferentes partes de resistencia, que sostienen las diferentes poleas móviles, se

tendrá $P=\frac{R}{C}\times g$, $P=\frac{R'}{C'}\times g'$, $P=\frac{R''}{C''}\times g''$;...de donde $g=\frac{P.C}{R}$; $g'=\frac{P.C'}{R'}$; $g''=\frac{P.C''}{R''}$..., y sumando todas las ecuaciones, será $P\left(\frac{C}{R}+\frac{C'}{R'}+\frac{C''}{R''}+\ldots\right)=g+g'+g''+\ldots=Q$. Luego si las direcciones del cordon son paralelas, se tendrá $P.2n=Q$, ó sea $P:Q::1:2n$, espresando por n el número de poleas móviles; esto es, *la potencia es á la resistència, como*



(Fig. 39.) (Fig. 40.) (Fig. 41.)

la unidad es al número 2 multiplicado por el número de poleas móviles que envuelve el cordon. Este sistema misto en práctica suele tener la disposicion que representan las figuras 40 y 41.

ARTÍCULO IV.

TORNO.

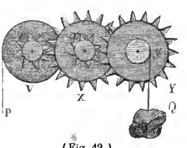
122. El *torno* es una máquina que consta de una rueda y de un cilindro, que tienen un eje comun, cuyas estremidades descansan sobre dos apoyos; una potencia aplicada tangencialmente á la circunferencia de la rueda, la obliga á girar junto con el cilindro al rede-

dor del eje, envolviéndose al mismo tiempo en el cilindro el cordon á que está aplicada la resistencia. Si el eje es horizontal, el torno toma el nombre de *cabria*, y si es vertical, el de *argano ó cabrestante*.

123. *En el torno la potencia es á la resistencia, como el radio del cilindro, en que se enrolla el cordon, es al radio del círculo, que tiende á describir la potencia.* Como para el efecto de la rotacion sirve solamente la direccion normal al eje, supondrémos que las fuerzas están en planos normales á dicho eje: de otra manera la fuerza se podria resolver en dos, de las cuales una paralela al eje no produciria efecto alguno, y otra normal. Ahora la potencia tiende á hacer girar el cilindro en un sentido, y la resistencia en sentido opuesto, luego sus momentos referidos al eje deberán ser iguales en caso de equilibrio, por lo que siendo R el radio de la rueda, y r el del cilindro, se tendrá $P.R=Q.r$, ó bien $P : Q :: r : R$.

124. Frecuentemente se aplica el torno á un sistema místo de poleas de cuerdas paralelas, en cuyo caso el efecto que se obtiene es muy considerable, porque haciendo de resistencia en el torno lo que es potencia para el sistema de poleas, resultan las dos proporciones $P : Q' :: r : R$, y $Q' : Q :: 1 : 2^n$. (121) de donde $P : Q :: r : 2^n.R$; así por ej. si hay tres poleas móviles, y el radio $r=\frac{R}{10}$, resulta $P=\frac{Q}{80}$.

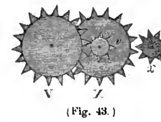
125. Hay muchas máquinas que se refieren al torno, entre las cuales merecen notarse las ruedas dentadas. Llámanse *ruedas dentadas* unas ruedas en cuya circunferencia hay unos filetes ó dientes, que engranan en los formados del mismo modo en otra rueda. Algunas veces al eje de la rueda se adapta otra de menor diámetro llamada *piñon*, que forma cuerpo con la mayor. Sea pues un sistema de tres ruedas dentadas V, X, Y (fig. 42), cuyos dientes engranan en los del piñon de la rueda inmediata v, x, y: aplíquese la potencia P á la primera rueda, y la resistencia Q al último piñon, sean S, S' los esfuerzos que hace el ala ó diente de la rueda, y sean R, R', R''; r, r', r'', los radios de las respectivas ruedas y piñones, se tendrá $P : S :: r : R$, $S : S' :: r' : R'$, $S', Q :: r'' : R''$, de donde $P : Q :: r.\,r'.\,r'' : R.\,R'.\,R''$, esto es, *la potencia es á la resistencia, como el producto de los radios de los piñones es al de los radios de las ruedas*. Así p. ej. si los radios de las ruedas son diez veces mayores que los de sus respectivos piñones, se tendrá $P : Q :: 1 : 1000$.



(Fig. 42.)

126. Para determinar la relacion de la velocidad de la primera

pieza V (fig. 43) de un sistema de ruedas dentadas con la del último piñon x obsérvese, que en un giro de la rueda V, el piñon inmediato v hará tantos giros, cuantas veces el número n de sus alas se contiene en el número N de los dientes de la rueda, con quien engrana, esto es, $\frac{N}{n}$; así tambien en un giro de la rueda X unida al piñon v, el piñon x hará un número de giros espresado por $\frac{N'}{n'}$, siendo N' el número de dientes de la rueda, y n' el del piñon con quien engrana; luego si un giro de la rueda X produce $\frac{N'}{n'}$ giros en el piñon x, los giros $\frac{N}{n}$ que haga, producirán $\frac{NN'}{nn'}$, esto es, cuando la primera rueda hará un giro, el último piñon hará el número de giros indicado por $\frac{NN'}{nn'}$.



(Fig. 43.)

127. Pero si dada la relacion de la velocidad, se quisiese saber el número de dientes y de alas, que conviene dar á las respectivas ruedas y piñones, el problema seria indeterminado y capaz de muchas soluciones: supongamos que mientras la rueda V hace un giro, el último piñon x debe hacer 60 giros, se tendrá $\frac{NN'}{nn'}=60$; tómese arbitrariamente por el divisor $n\ n'$ un número compuesto de dos factores, que puedan convenir á los números de alas, que deben darse á los piñones, p. ej. $n\ n'=7\times8=56$, se tendrá $NN'=60\times56$; luego se podrá hacer $N=60$, $N'=56$, $n=8$, $n'=7$, y quedará satisfecha la condicion del problema.

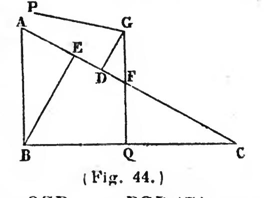
ARTÍCULO V.

PLANO INCLINADO.

128. Se llama *plano inclinado* un plano que hace un ángulo con el horizonte, que se dice *ángulo de elevacion del plano.* La perpendicular tirada desde un punto del plano al horizonte se llama *altura* del plano; la parte de plano comprendida entre el vértice y la perpendicular es su *longitud*, y la horizontal comprendida entre dichos límites se dice *base* del plano.

129. *En el plano inclinado la potencia es á la resistencia, como la al-*

tura del plano es á su longitud multiplicada por el seno del ángulo, que la direccion de la potencia hace con la normal tirada sobre el plano desde el centro de gravedad del cuerpo. Representando por la vertical GQ (fig. 44), el peso del cuerpo aplicado al centro de gravedad G y sostenido el cuerpo sobre el plano por una fuerza P, en caso de equilibrio la resultante de estas dos fuerzas deberá pasar por el punto de contacto del cuerpo, y ser normal al plano inclinado, para que quede destruida, por lo que se tendrá P : Q : : sen.QGD : sen.PGD (74), pero



(Fig. 44.)

$\text{sen.QGD}=\text{sen.C}=\frac{AB}{AC}$, luego $P : Q :: \frac{AB}{AC} : \text{sen.PGD} :: AB : AC\times\text{sen.PGD}$.

130. Siendo $P=\frac{Q.AB}{AC\,\text{sen. PGD}}$, cuanto mayor sea sen.PGD, tanta menor fuerza deberá emplearse; pero su mayor valor es cuando sen.PGD=1, esto es, cuando la direccion de la potencia es paralela á la longitud, luego esta direccion será la mas ventajosa á la potencia. En tal caso se tendrá P : Q : : AB : AC, esto es, *la potencia es al peso, como la altura del plano es á su longitud;* pero si la direccion de la potencia es paralela á la base, será $\text{sen.PGD}=\text{sen.BAC}=\frac{BC}{AC}$ de donde P : Q : : AB : BC, esto es, la potencia es á la resistencia, como la altura del plano es á su base.

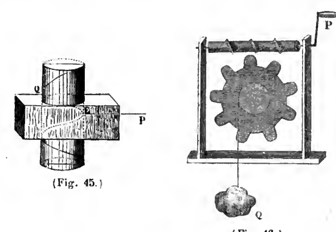
ARTÍCULO VI.

TORNILLO Ó ROSCA.

131. El *tornillo* es un cilindro recto enroscado por un hilo uniforme que le está unido, y que hace el mismo ángulo con todas las rectas tiradas sobre la superficie convexa paralelamente al eje. La curva trazada por este hilo se llama *hélice*. El tornillo se introduce en un sólido llamado *tuerca* excavado interiormente, del mismo modo que la hélice está dispuesta en el tornillo, de modo que la tuerca es como un molde del tornillo.

132. *En el equilibrio del tornillo, la potencia es á la resistencia, como el paso de la hélice es á la circunferencia, que tiende á describir la potencia.* Como desarrollando la superficie convexa del cilindro, resultan tantos planos inclinados cuantas son las espirales, cuya base es igual á la circunferencia de la base del cilindro, y su altura es el paso de la hélice, un punto pesado colocado sobre el filete de la hélice

podrá considerarse como colocado sobre un plano inclinado. Además estando el tornillo fijo y vertical, la tuerca no sostenida iria corriendo las espirales inferiores; para impedir este descenso, se deberá emplear una fuerza, que bastará sea horizontal. Concibiendo ahora el peso Q total de la tuerca (fig. 45), descompuesto en tantos pequeños



(Fig. 45.)

(Fig. 46.)

pesos q, cuantos son los puntos del cilindro sobre que se apoya; asimismo descomponiendo la fuerza total P en otras tantas pequeñas fuerzas p; si llamamos r al radio del cilindro, a al paso de la hélice, y x á una fuerza horizontal que sostiene uno de los pesos q en el punto E, se tendrá $x : q :: a : 2\pi r$ (130), pero las fuerzas x y p aplicadas á diferentes puntos producen el mismo efecto, luego sus momentos referidos al eje deben ser iguales; por lo que llamando R al radio del círculo, que describe la potencia, se tendrá $p : x :: r : R$, y multiplicando entre sí las dos proporciones, resulta $p : q :: a : 2\pi R$, y como el todo es proporcional á sus partes alicuotas se tendrá $P : Q :: a : 2\pi R$.

133. Aplicando el tornillo á otras máquinas, se aumenta considerablemente su efecto. Una de las principales combinaciones es el *tornillo sin fin*, que consiste en un torno de rueda dentada, cuyos dientes engranan en los filetes de la rosca de un tornillo movido por una potencia aplicada á una cigüeña (fig. 46). Sea P la potencia, S la resistencia que uno de los dientes opone á la espiral del tornillo, se tendrá $P : S :: a : 2\pi R$: además siendo r el radio del cilindro del torno y R′ el de la rueda dentada, será $S : Q :: r : R'$, y multiplicando las dos proporciones, resulta $P : Q :: ar : 2\pi RR'$, esto es, *la potencia es á la resistencia, como el radio del cilindro multiplicado por el*

paso de la hélice, es al radio de la rueda dentada multiplicado por la circunferencia, que tiende á describir la potencia.

134. El toraillo so ha aplicado á la subdivision de partes, que por su pequeñez no seria fácil ejecutar con exactitud, y en este caso se le da el nombre de *tornillo micrométrico*. Supongamos que el paso de la hélice de un tornillo sea de un milímetro, y que esta longitud se quiera dividir en 100 partes; bastará fijar á la estremidad del tornillo un índice suficientemente largo, que recorra una circunferencia dividida en 100 partes iguales; estando fija la tuerca, el tornillo adelantará un centésimo de milímetro con exactitud por cada division de la circunferencia que recorra el índice.

ARTÍCULO VII.

CUÑA.

135. La *cuña* es un prisma triangular, que por una de sus aristas se introduce en un cuerpo para dividirlo: las caras, que forman la arista llamada *corte*, se dicen *lados* de la cuña, y el plano opuesto que recibe la impresion de la potencia, se denomina *cabeza de la cuña*.

136. *En la cuña la potencia es á la resistencia, como la cabeza de la cuña es á la suma de los dos lados.* Porque (fig. 47), sea P la potencia aplicada á la cabeza de la cuña en una direccion PE normal, y descompóngase en dos EF y EG respectivamente perpendiculares á los lados AC y BC, en caso de equilibrio estas fuerzas deberán ser iguales y opuestas á las resistencias, que presentan las partes del cuerpo para separarse. Prolongando pues la direccion de la fuerza PE, y tomando la recta E*e* para representarla, los lados E*f* y E*g* representarán las componentes, ó sea las resistencias, que llamarémos Q y Q′; pero los triángulos E*fe* y ABC siendo semejantes dan $\frac{Ee}{AB}=\frac{Ef}{AC}=\frac{fe}{BC}=\frac{Ef+fe}{AC+BC}$; luego $\frac{P}{AB}=\frac{Q+Q'}{AC+BC}$.

(Fig. 47.)

137. Si la cuña forma un triángulo isósceles, siendo entónces AC=BC, se tendrá $P : Q+Q' :: AB : 2\,AC :: \frac{1}{2}\,AB : AC$; por lo que sirviéndose de una cuña muy aguda, esto es, que sus lados sean muy largos con relacion á su cabeza, con fuerzas muy pequeñas se podrán obtener efectos muy grandes.

CAPÍTULO VII.

DE LAS MÁQUINAS EN GENERAL, Y DEL ROCE Y RIGIDEZ DE LAS CUERDAS.

138. En toda máquina hay un punto fijo ó un eje, al rededor del cual se produce el movimiento, cuando se rompe el equilibrio. Suponiendo que este suceda en un tiempo sumamente corto, los puntos de aplicacion de la potencia y de la resistencia describirán arcos pequeñísimos de círculo, los cuales siendo proporcionales á los radios, se podrán substituir á ellos en la ecuacion fundamental del equilibrio (87), y representarán las velocidades de dichos puntos, que toman el nombre de *velocidades virtuales*. Llamando pues V y V′ á estas respectivas velocidades virtuales, se tendrá $P.V = Q.V'$, esto es, en una máquina habrá equilibrio, cuando *la potencia multiplicada por la velocidad que puede tomar en un instante sumamente corto, es igual á la resistencia multiplicada por la velocidad que tomaria en aquel mismo instante, si se rompiese el equilibrio.*

139. La precedente ecuacion muestra, que si se quiere disminuir la fuerza P, se deberá aumentar su velocidad V, ó sea, se tendrá que transportar esta fuerza á una distancia mayor, con lo que se perderá en tiempo, lo que se ahorrará de fuerza. Al revés, si se disminuye la velocidad, ó sea la distancia de la fuerza, convendrá aumentarla, con dispendio de la misma fuerza. Del mismo modo dadas las cantidades P y V, se podrá arbitrariamente hacer Q ó V′ mayor ó menor, con tal que la otra se haga proporcionalmente menor ó mayor; así con la misma fuerza y en el mismo tiempo se podrá levantar un peso de 1000 libras con la velocidad de 10 piés por segundo, ó un peso de 100 libras con la velocidad de un pié por segundo; de modo que siempre se verifica el axioma de mecánica, *que lo que se gana en fuerza, se pierde en tiempo, y al revés.*

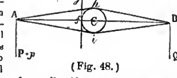
140. Aunque los cuerpos estén lisos, lo mas que se pueda, si sus superficies se observan con el microscopio, se las distingue llenas de pequeñas prominencias y cavidades, y así puesto un cuerpo sobre otro, las partes prominentes del uno se introducen en las cavidades del otro, dando orígen á una cierta resistencia llamada *roce*. El roce se dice de *primera especie*, si las mismas partes de un cuerpo se aplican sucesivamente sobre las diferentes partes del otro, como cuando se hace deslizar un libro sobre una mesa; el roce es de *segunda especie*, cuando las diferentes partes de la superficie de un cuerpo, tocan sucesivamente las partes del otro, como cuando gira un cilindro sobre una mesa; de *tercera especie* es cuando se combinan las dos precedentes, esto es, cuando hay un movimiento progresivo y rotato-

rio: de esta especie es el roce del eje de una rueda dentro de su cubo.

141. La resistencia del roce entre otras causas depende principalmente de la presion, que un cuerpo hace puesto sobre otro. Mr. Coulomb y otros físicos colocando un cuerpo sobre un plano horizontal, y tirándolo con pesos hasta determinar su movimiento, observaron que si el peso del cuerpo no es muy grande, la resistencia que produce el roce es proporcional á la presion. Además el roce disminuye mucho, untando las superficies con aceite, jabon ú otro cuerpo graso. Finalmente el valor del roce es mucho menor en los mismos cuerpos cuando se mueven, que al romper el movimiento.

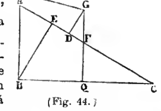
142. Como el roce es una fuerza que tiene por direccion la tangente á las superficies de contacto, se podrá considerar como una fuerza cualquiera, dirigida segun esta tangente.

143. En la palanca el roce puede despreciarse absolutamente, por ser de poca consideracion; pero no debe despreciarse en la balanza, principalmente cuando se deben pesar masas muy grandes y de valor. Sea AB (fig. 48), la barra de la balanza atravesada por el eje fhi, en caso de equilibrio los dos pesos P y Q suspendidos á las extremidades de los brazos iguales CA y CB serán iguales; pero por motivo del roce se necesitará un cierto peso p, para que se rompa el equilibrio; entónces la resultante de los dos pesos $P+p$ y Q pasará entre A y C; pero siendo C el centro de rotacion, el roce del eje sobre su cubo podrá considerarse como una fuerza dirigida segun la tangente fg, que se equilibra con el peso p al rededor del punto C: llamando r al radio del eje, R al brazo CA, y n á la relacion del roce á la presion, la presion sobre los apoyos será $2P+p$, y el roce $n(2P+p)$, y para el equilibrio se tendrá $n(2P+p)r=p.R$, de donde $p=\frac{2nrP}{R-nr}$, fórmula que da á conocer el peso p destinado á vencer el roce. Sea p. ej. $P=200$ libras, $\frac{r}{R}=\frac{1}{100}$, $n=\frac{1}{5}$, será $p=\frac{400}{499}$. La misma fórmula debe aplicarse á la polea fija, puesto que se reduce á una palanca de brazos iguales.



(Fig. 48.)

144. Para determinar el roce en el plano inclinado represéntese el peso Q (fig. 44), de ún cuerpo puesto sobre el plano inclinado ABC por la vertical GF, y resuélvase en dos fuerzas GD y DF la una normal, y la otra paralela al plano inclinado; los triángulos semejantes GDF, ABC dan $DF=Q\times\frac{AB}{AC}$, $GD=Q\times\frac{BC}{AC}$; la primera tiende á hacer resbalar el cuerpo, la segunda produce la presion sobre el plano, y determina un roce de primera especie; siendo n la relacion del roce á la presion, el roce será $n\,Q\times\frac{BC}{AC}$: así pues al romperse el equilibrio se tendrá $Q\times\frac{AB}{AC}=n.Q\times\frac{BC}{AC}$,



(Fig. 44.)

ó sea, AB$=n$.BC, de donde $n=\frac{AB}{BC}$; esto es; al romperse el equilibrio la relacion del roce á la presion es igual á la de la altura del plano inclinado á su base.

145. Esta relacion ofrece un método fácil de determinar el roce de primera especie colocando un cuerpo sobre un plano, que se irá inclinando hasta el momento en que comienza á resbalar; la relacion de la altura á la base, que entónces tendrá el plano, será la del roce á la presion. Sea por ej. la inclinacion del plano igual á 18°26′, se tendrá *Tang.*$(18°26')=\frac{AB}{BC}=\frac{1}{3}=n$, es decir, el roce será un tercio de la presion.

146. La rigidez de las cuerdas ó cordeles, ó sea, la dificultad de doblarlas, es otra causa que disminuye el efecto de las máquinas á que se aplican. La experiencia enseña, que una cuerda opone tanta mayor dificultad para doblarse, cuanto mayor es el peso que la tira, cuanto es mas gruesa, y cuanto menor es el diámetro del cilindro en que debe enrollarse.

CAPÍTULO VIII.

DE LAS LEYES DEL MOVIMIENTO UNIFORME Y UNIFORMEMENTE ACELERADO Y RETARDADO.

147. Un cuerpo se mueve con movimiento uniforme, cuando en tiempos iguales corre espacios iguales. El movimiento uniforme es producido por una fuerza momentánea, y la aptitud que esta fuerza da al cuerpo de correr un cierto espacio en un tiempo determinado se llama *velocidad*, por lo que la medida de la velocidad de un móvil se representará por el espacio corrido en un tiempo determinado. Así pues, llamando V á la velocidad, E al espacio y T al tiempo, se tendrá $V=\frac{E}{T}$, de donde $E=VT$.

148. Expresando por e, v, t la velocidad, el espacio y el tiempo para otro cuerpo, que se mueve tambien con movimiento uniforme, se tendrá $e=vt$, y comparando esta ecuacion con la precedente, suponiendo sucesivamente $V=v$, $T=t$, $E=e$, será $E : e :: T : t$; $E : e :: V : v$; $V : v :: t : T$, esto es, *cuando las velocidades son iguales, los espacios corridos son como los tiempos del movimiento; y si estos son iguales, los espacios son como las velocidades; pero si los espacios corridos son iguales, las velocidades están en razon inversa de los tiempos del movimiento.*

149. Un cuerpo se mueve con movimiento acelerado, cuando está

solicitado por una fuerza contínua, porque recibiendo en cada instante consecutivo un nuevo impulso, es apto para correr un espacio mayor. Las fuerzas contínuas toman el nombre de *fuerzas aceleratrices*. Si en un instante cualquiera cesa de obrar la causa aceleratriz, el cuerpo sigue moviéndose con movimiento uniforme con la velocidad adquirida.

150. Llámase movimiento *uniformemente acelerado*, cuando la velocidad producida por la fuerza aceleratriz aumenta cada instante de una cantidad igual. El movimiento se dice *uniformemente retardado*, cuando la velocidad disminuye en cada instante de una cantidad igual. Sea pues g la velocidad que la fuerza aceleratriz comunica al móvil en cada instante; las velocidades del móvil en los instantes sucesivos serán, g, $2g$, $3g$,... y en un tiempo t será tg, que llamándola v, se tendrá $v=gt$, esto es, *la velocidad del móvil en cada instante, es igual al producto de la velocidad comunicada en el primer instante por el tiempo corrido.*

151. Sea v' la velocidad del móvil adquirida en otro tiempo t', será $v'=gt'$, que comparada con la anterior da $v : v' :: t : t'$: esto es, *en el movimiento uniformemente acelerado las velocidades del móvil son proporcionales á los tiempos del movimiento.*

152. Aunque la velocidad en el movimiento uniformemente acelerado, vaya creciendo con el tiempo, sin embargo se podrá tomar una unidad de tiempo tan pequeña, que en ella la velocidad sea sensiblemente constante. En este supuesto las velocidades sucesivas g, $2g$, $3g$,... tg multiplicadas por 1 representarán tambien los espacios corridos con movimiento sensiblemente uniforme en las correspondientes unidades de tiempo; y como estos espacios siguen una progresion aritmética, el espacio total corrido en el tiempo t será $e=(g+gt)\frac{t}{2}$, y si el móvil parte del reposo, siendo cero la velocidad correspondiente al principio del primer instante, la fórmula se reducirá á $e=g\frac{t^2}{2}$.

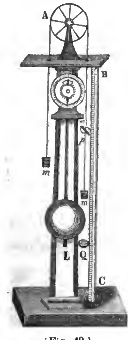
153. Eliminando t de las dos ecuaciones $v=gt$ y $e=g\frac{t^2}{2}$, se tendrá $v^2=2ge$, que da á conocer la velocidad adquirida por el móvil en valor de la fuerza aceleratriz y del espacio.

154. Sea e' el espacio corrido en otro tiempo t', se tendrá $e'=g\frac{t'^2}{2}$, y comparándola con $e=g\frac{t^2}{2}$, da $e : e' :: t^2 : t'^2$; pero $v : v' :: t : t'$ (151), luego tambien $e : e' :: v^2 : v'^2$, esto es, *los espacios son proporcionales á los cuadrados de los tiempos y de las velocidades*: así haciendo $t=1$, $t'=2$, $t''=3$... será $e : e' : e'' :: 1 : 4 : 9$, ó sea, *los espacios corridos son como los cuadrados de los números naturales*. Los espacios suce-

sivamente corridos son 1, 4—1, 9—4,... ó sea 1, 3, 5... esto es, *siguen la razon de los números impares naturales.*

155. Si la fuerza aceleratriz g cesa de obrar despues de un tiempo t, el móvil sigue moviéndose con la velocidad adquirida gt con movimiento uniforme, por lo que en otro tiempo t igual al precedente correrá un espacio $e=vt$ (147)$=gt\times t=gt^2$, que es doble de $g\frac{t^2}{2}$ corrido en el primer tiempo t, esto es, *el móvil con la velocidad adquirida en un tiempo dado con movimiento uniformemente acelerado, correrá en otro tiempo igual un espacio doble con movimiento uniforme.*

156. A todas estas leyes se observan sujetos los cuerpos, que caen en un medio no resistente y en distancias no demasiado grandes de la superficie de la tierra: de lo que se sigue, que la gravedad obra sobre los cuerpos como una fuerza aceleratriz constante. La esperiencia se puede hacer con diferentes aparatos, como son el plano inclinado de Galileo, y la máquina de Adwoot. Este último aparato consiste en una polea A (fig. 49), movilisima sobre su eje, en cuya garganta pasa un hilo muy fino tirado por dos masas iguales, y para mover el sistema, se añade por una parte un peso ó masa pequeñísima, y así la fuerza motriz de todo el sistema será $g(m+m')-gm=gm'$, y como el efecto de esta fuerza debe distribuirse por igual sobre todas las masas, la fuerza aceleratriz será $g\times\frac{m'}{2m+m'}$; por lo que pudiéndose disminuir cuanto se quiera la velocidad de las masas, se podrán observar con exactitud los espacios corridos por medio de una regla vertical graduada BC, y al mismo tiempo se podrá despreciar la resistencia del aire. En dicha regla se adaptan un anillo p para detener la masa m' y un plano Q, donde se para todo el movimiento. El tiempo está medido por medio de un péndulo L, que bate segundos.



(Fig. 49.)

157. Tratando del péndulo (177), se verá que la gravedad en un segundo de tiempo comunica á los móviles la aptitud de poder correr el espacio de 9,78 metros por segundo; por lo que la ecuacion $v=gt$ dará la velocidad que un móvil habrá adquirido en un tiempo cualquiera, y $e=g\frac{t^2}{2}$ el espacio ó altura, de

donde ha caido. Sea por ej. $t=10''$ será $v=9{,}78^{m}\times 10''=97{,}8$ metros, $e'=\frac{9.78(10)^2}{2}=4{,}89^{m}\times 100=489$ metros. Si se quiere saber de qué altura deberia caer un grave para adquirir una cierta velocidad, por ej. de 97,8 metros por segundo, se tomaria la fórmula $v^2=2ge$ (153), de la cual resulta $e=\frac{v^2}{2g}=\frac{(97{,}8)^2}{2\times 9{,}78}=489$ metros.

158. Si el móvil recibe desde el principio un impulso vertical de arriba abajo, se deberá añadir este impulso á la velocidad que la gravedad ha comunicado al cuerpo en un tiempo dado; así tambien el espacio corrido será igual al espacio que el impulso y la gravedad separadamente hubieran hecho correr al cuerpo en el mismo tiempo; por lo que llamando a la velocidad debida al impulso, se tendrá $v=a+gt$, $e=at+g\times\frac{t^2}{2}$.

159. Si el impulso recibido por el cuerpo fuese opuesto á la accion de la gravedad, como cuando se arroja un móvil hácia lo alto, la fuerza de la gravedad disminuirá continuamente la velocidad debida al impulso, destruyéndola muy presto enteramente, por lo que el cuerpo cesará de subir, y comenzará á bajar, como si partiese del reposo, y así se tendrán las fórmulas $v=a-gt$, $e=at-g.\frac{t^2}{2}$.

160. En esta hipótesis sea $v=o$, lo que supone la total extincion de la velocidad debida al impulso, se tendrá $a=gt$ y $t=\frac{a}{g}$, que da el tiempo de la subida. Sea $e=o$, lo que supone que el móvil cayendo otra vez, haya vuelto al mismo punto de donde partió, se tendrá $at=\frac{gt^2}{2}$ de donde $t=\frac{2a}{g}$, tiempo empleado en subir y bajar, el cual siendo doble del primero, da á conocer, que el móvil emplea igual tiempo en subir y en bajar. En la fórmula $e=at-g\frac{t^2}{2}$ sustituyendo el valor de $t=\frac{a}{g}$ deducido de la hipótesis $v=o$, se tendrá $e=a.\frac{a}{g}-\frac{a^2g}{2g^2}=\frac{a^2}{2g}$, que expresa la altura á que habrá llegado el móvil despues de la total extincion de la velocidad comunicada por el impulso.

161. Los cuerpos cayendo en un medio resistente, de tal manera aceleran su movimiento, que este se hace poco á poco sensiblemente uniforme; porque por efecto de la resistencia del medio, el cuerpo debe perder una parte de la velocidad adquirida; pero como esta velocidad va creciendo continuamente, así mucho mas crece la resistencia, que el medio opone, 1° porque en igual tiempo el móvil encuentra mas moléculas que apartar, y 2° porque á cada una debe co-

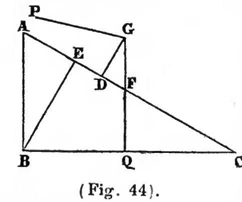
municar mayor velocidad; y así la velocidad del cuerpo decrecerá contínuamente, acercándose á un valor constante.

162. Obrando la resistencia del medio en la superficie del cuerpo, la fuerza motriz que de ella resulta, no dependerá de la masa, sino que será siempre igual, siendo igual la forma y amplitud de la superficie. Pero como la fuerza aceleratriz es igual á la motriz dividida por la masa, así esta fuerza será recíprocamente proporcional á la misma masa. Por lo que en igualdad de circunstancias, cuanto mayor sea la masa de un cuerpo, que cae en un medio resistente, tanto mas rápido será su movimiento final.

CAPÍTULO IX.

DEL MOVIMIENTO DE LOS GRAVES POR LOS PLANOS INCLINADOS.

163. *Bajando un grave por un plano inclinado, su movimiento es uniformemente acelerado, y la fuerza con que baja es la misma gravedad modificada por el seno del ángulo de inclinacion del plano.* Porque sea G (fig. 44) el centro de gravedad del cuerpo puesto en un plano inclinado; resolviendo la fuerza motriz representada por GF en dos, una GD normal, otra DF paralela á la longitud CA del plano, la primera quedará destruida por la resistencia del plano, y el grave se moverá por la accion de la sola fuerza DF, la cual siendo constantemente la misma en todos los puntos del plano, producirá un movimiento uniformemente acelerado. Ahora los triángulos ABC, GDF semejantes, dan AC : AB : : GF : $DF = GF \times \frac{AB}{AC} = g.sen.C$, que espresa la enunciacion precedente.



(Fig. 44).

164. En las fórmulas generales $v = gt$, $e = g\frac{t^2}{2}$, $v^2 = 2ge$ del movimiento uniformemente acelerado, poniendo $g.\ sen.C$ en vez de g, y llamando θ al tiempo u á la velocidad y ε al espacio, se tendrán para el movimiento de los graves en los planos inclinados las fórmulas $u = g \times \theta sen.C$, $\varepsilon = g\frac{\theta^2}{2}\ sen.C$, $u^2 = 2g.\varepsilon \times sen.C$; y comparando estas ecuaciones con las precedentes, y haciendo $t = \theta$, se tendrá $v : u : : 1 : sen.C : : 1 : \frac{AB}{AC} : : AC : AB$; $e : \varepsilon : : 1 : sen.C : : AC : AB$; esto es, *si dos graves caen al mismo tiempo el uno verticalmente y el otro por el plano incli-*

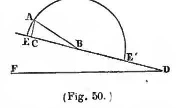
nado, las velocidades adquiridas y los espacios corridos son como la longitud del plano á su altura.

165. Desde el punto B en que la horizontal encuentra la vertical AB, tirando la perpendicular BE á la longitud del plano, el grave con movimiento oblícuo correrá el espacio AE en el mismo tiempo que correria la vertical AB, porque haciendo $t=\theta$, se tiene $e : \epsilon :: AC : AB :: AB : AE$; luego si AB es un diámetro vertical de un círculo, AE será una cuerda, *por lo que las bajadas por el diámetro vertical de un círculo y por las cuerdas terminadas en uno de sus extremos, son isócronas.*

166. La velocidad adquirida por el grave despues de haber corrido la longitud del plano, es igual á la que habria adquirido, cayendo por su altura; porque siendo $v^2 : u^2 :: e : \epsilon \times sen.C$, en esta hipótesis será $e = AB = AC \times \frac{AB}{AC} = \epsilon.\ sen.C$, luego tambien $v^2 = u^2$, y $v = u$.

167. Los tiempos empleados por un grave en caer por la longitud y por la altura de un plano son proporcionales á la misma longitud y altura, porque siendo en este caso $v = u$, tambien será $gt = g\theta sen.C$; luego $t : \theta :: sen.C : 1 :: AB : AC$.

168. Pasando un grave de un plano inclinado á otro mas inclinado al horizonte, pierde una parte de la velocidad adquirida, representada por el seno verso del ángulo formado por la mútua inclinacion de los dos planos. Sean estos AB y BD (fig. 50) y DF el horizonte, tirada la perpendicular AC, resuélvase la velocidad adquirida del cuerpo, que puede representarse por AB en dos, AC y CB, aquella quedará enteramente destruida por la resistencia del plano BD, y prescindiendo de la elasticidad, la sola fuerza CB solicitará al grave, al comenzar á correr por el plano BD; por lo que la velocidad antes adquirida será á la nueva velocidad, como AB : CB; describiendo ahora un círculo con el centro B y el radio BA, la velocidad perdida será AB—CB=EB—CB=EC seno-verso del ángulo ABC.



(Fig. 50.)

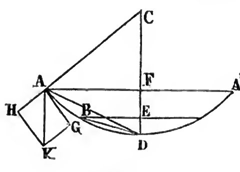
169. Si el ángulo ABC es infinitamente pequeño, como sucede en las curvas, mucho mas lo será el seno-verso, porque $EC = \frac{\overline{AC}^2}{CE'}$; pero AC es una cantidad infinitésima de primer órden, luego la velocidad perdida EC será una cantidad infinitésima de 2.° órden, y así el grave cayendo por una curva ó por un arco conservará sensiblemente toda la velocidad adquirida, que por consiguiente será la misma, que la que hubiera adquirido, cayendo verticalmente por la altura del mismo arco.



CAPÍTULO X.

DEL PÉNDULO.

170. Se llama *péndulo* un punto pesado suspendido por un hilo inflexible y no pesado, fijo en un punto, al rededor del cual puede girar libremente. El péndulo que gozase de todas estas propiedades, es el que se llama *simple,* de otra manera se dice *compuesto*. El curso del péndulo desde una extremidad del arco que describe á la otra estremidad, se llama *oscilacion,* y la porcion de arco comprendida por una estremidad y el punto mas bajo, se dice *semi-oscilacion*.



(Fig. 51).

171. Un péndulo CD (fig. 51) fijo en un punto C y separado de la vertical, con el mismo movimiento describe el arco circular ADA', que si quitado el hilo estuviese obligado á caer por una superficie circular perfectamente dura y lisa, porque resolviendo la fuerza de la gravedad AK en dos, la una AH perpendicular á la superficie quedaria enteramente destruida por la resistencia de la misma superficie, y la otra AG normal á AH solicitaria al grave á la caida, y lo mismo se diga en los demás puntos de la curva; pero el hilo inflexible hace la misma resistencia, que la superficie circular, porque resuelta la gravedad de la misma manera, una parte queda destruida por el punto fijo C, y la otra produce el movimiento segun el arco AD, luego así como un móvil cayendo por el arco AD, en virtud de la velocidad adquirida subiria por el arco DA', así tambien el péndulo despues de haber bajado desde A á D subirá por el arco DA', y como la gravedad le quitará los grados de velocidad que le habia comunicado bajando, el móvil cesará de subir, cuando en el arco DA' se habrá elevado á la misma altura de donde bajó, y así otra vez bajará para subir á la otra parte, oscilando continuamente por el arco ADA'.

172. *Las velocidades que adquieren los cuerpos, cayendo por arcos circulares, son proporcionales á las cuerdas de los mismos arcos;* porque representando por v y v' las velocidades adquiridas en el punto inferior D por dos cuerpos que caen, el uno desde el punto A y el otro desde el punto B, estas velocidades serán iguales á las que hubieran adquirido, cayendo desde las alturas FD y ED (169); pero los espacios corridos, son como los cuadrados de las velocidades (154) ó sea $v^2 : v'^2 :: FD : ED$, y en el círculo se tiene $\overline{AD}^2 : \overline{BD}^2 :: FD : ED$, luego, $v^2 : v'^2 :: \overline{AD}^2 : \overline{BD}^2$, de donde $v : v' :: AD : BD$;

de lo que se sigue, que queriendo comunicar á un móvil una velocidad doble, triple, etc., bastará hacerlo caer de un arco, que tenga una cuerda doble, triple, etc.

173. *Las oscilaciones del péndulo en arcos circulares pequeños son sensiblemente isócronas.* Pudiéndose considerar un círculo, como un polígono de infinitos lados sumamente pequeños, uno de ellos es igual al producto de su proyeccion sobre el diámetro, por la relacion del radio á la ordenada correspondiente al mismo lado. (Fig. 52). Sea por ej. MM', tirado el radio $CM=r$, las ordenadas MP, M'P' al diámetro vertical HK, y la recta M'O paralela al diámetro; los triángulos semejantes CPM y MOM', por tener sus lados mútuamente perpendiculares, dan $MP : r :: M'O\,(=PP') : MM'=PP'\times\frac{r}{MP}$, y suponiendo el arco MK muy pequeño, se tendrá sensiblemente $HP=HK=2r$ y así $MP=\sqrt{2r.PK}$, y por consiguiente $MM'=PP'\frac{r}{\sqrt{2r.PK}}=PP'\frac{\sqrt{r}}{\sqrt{2.PK}}$. Sea u la velocidad adquirida por un móvil bajando por el arco BM; tirada la horizontal BD, se tendrá $u=\sqrt{2g.AP}$ (169). Ahora sobre AK como diámetro descríbase el círculo ANKA, y sea T el tiempo que el móvil emplea para correr el arco BKD, y t el que emplea en correr el arco infinitésimo MM', siendo este arco tan pequeño, se podrá suponer que haya sido corrido uniformemente con la velocidad u; por lo que se tendrá $t=\frac{MM'}{u}$ en la cual ecuacion sustituidos los valores de MM' y de u, será $t=\frac{PP'\sqrt{r}}{\sqrt{2PK}\sqrt{2g.AP}}=\frac{PP'}{2\sqrt{AP.PK}}\times\sqrt{\frac{r}{g}}=\frac{PP}{2PN}.\sqrt{\frac{r}{g}}$. El lado circular infinitésimo NN', como al principio se demostró, es$=\frac{AK}{2PN}\times PP'$, de donde $\frac{PP'}{2PN}=\frac{NN'}{AK}$, luego $t=\frac{NN'}{AK}\sqrt{\frac{r}{g}}$. Con el mismo raciocinio se hallará un semejante resultado para todos los lados infinitésimos, que componen el arco BKD, por lo que sumando todos los elementos NN' correspondientes, se tendrá $T=\frac{ANKA}{AK}\sqrt{\frac{r}{g}}=\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$, de cuya fórmula que no contiene la cantidad AK, de que depende la estension del arco BKD, se sigue que el tiempo T de la oscilacion es independiente de la estension del arco descrito, mientras este sea bastante pequeño, ó lo que es lo mismo, las oscilaciones son isócronas.

(Fig. 52.)

174. Sea T' el tiempo de una oscilacion de otro péndulo r' solici-

tado por la fuerza g': se tendrá $T'=\pi\sqrt{\frac{r'}{g'}}$, de donde $T : T' :: \sqrt{\frac{r}{g}} : \sqrt{\frac{r'}{g'}}$, y haciendo sucesivamente $g=g'$, $r=r'$ será $T : T' :: \sqrt{r} : \sqrt{r'}$; $T : T' :: \sqrt{g'} : \sqrt{g}$, esto es, *si la fuerza de la gravedad es igual, el tiempo de las oscilaciones de los péndulos es proporcional á la raiz cuadrada de su longitud; y si su longitud es igual, el tiempo de sus oscilaciones está en razon inversa de la raiz cuadrada de la gravedad.*

175. Sea n el número de oscilaciones que hace un péndulo r, en un tiempo determinado, por ej. de una hora; se tendrá $T.n=1$ y para otro péndulo r' será $T'.n'=1$, de donde $T.n=T'n'$, y $T : T' :: n' : n$, proporcion que comparada con la del número anterior dá $n' : n :: \sqrt{\frac{r}{g}} : \sqrt{\frac{r'}{g'}}$, por lo que haciendo sucesivamente $g=g'$, $r=r'$, $n=n'$ resulta $n' : n :: \sqrt{r} : \sqrt{r'}$, $n' : n :: \sqrt{g'} : \sqrt{g}$, $r : r' :: g : g'$, esto es, *si la gravedad que solicita los dos péndulos es igual, el número de oscilaciones que harán en un tiempo dado está en razon inversa de la raiz de su longitud; y si ésta es igual, el número de las oscilaciones será proporcional á la raiz de la gravedad*; *pero si en un tiempo dado los dos péndulos hacen igual número de oscilaciones, su longitud será proporcional à la gravedad que los solicita.*

176. Las precedentes deducciones tienen muchas aplicaciones, y he aquí algunas. 1.ª Si se quiere determinar la longitud x de un péndulo que oscile segundos, tómese un péndulo cualquiera r' y cuéntese el número de oscilaciones n', que haga en un tiempo determinado, por ej. en 60″, y se formará la proporcion $60 : n' :: \sqrt{r'} : \sqrt{x}$, de donde $x=\frac{r' \times n'^2}{(60)^2}$. De este modo se ha hallado que la longitud del péndulo que oscila segundos en Madrid, es de 993,37 milímetros, segun D. Gabriel Ciscar. 2.ª En la fórmula $T=\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$ sustituyendo el valor de la longitud del péndulo simple hallada para un determinado lugar, se tendrá el valor de la fuerza de la gravedad ó pesantez en aquel mismo punto: así haciendo $T=1''$, resulta para Madrid $g=\pi^2 r= (3{,}14159)^2 \times 993{,}38^{mm}=9{,}80415$ metros.

177. La esperiencia hace ver que la longitud del péndulo simple, que bate segundos, es tanto menor cuanto mas nos acercamos al ecuador, pero la longitud del péndulo es proporcional á la gravedad, luego esta fuerza disminuye desde los polos al Ecuador. He aquí una tabla de los resultados obtenidos en diferentes lugares.

LUGARES.	LATITUD.	LONG. DEL PEND.	GRAVEDAD.
Ecuador.. .	0° 0′ 0″	Metros 0,990925	Metros 9,7800
Rio Janeiro.	22° 55′ 13″S.	» 0,991693	» 9,7876
París.. . .	48° 50′ 40″N.	» 0,993846	» 9,8088
Drontheim..	63° 25′ 50″N.	» 0,995020	» 9,8205
Spinztberg..	79° 49′ 58″N.	» 0,996036	» 9,8305

178. Igualmente se observa que elevando verticalmente un péndulo, conviene acortarlo mas y mas, á medida que se eleva, para que oscile segundos, de lo que se infiere que la pesantez de los cuerpos disminuye á medida que se alejan del centro de la tierra, ó lo que es lo mismo, la gravedad no es una fuerza aceleratriz constante. M. Bouquer obtuvo los siguientes resultados.

ALTURAS.	LONG. DEL PEND.	GRAVEDAD.
Nivel del mar..	Metros 0,990925	Metros 9,7800
A 2857 metros.	» 0,990113	» 9,7720
A 4736 »	» 0,989685	» 9,7678

179. Finalmente el péndulo ofrece una prueba directa del movimiento rotatorio de la tierra, pues si esta estuviese en reposo, el plano en que oscila el péndulo se conservaria siempre el mismo, mas ahora se observa que este plano va girando al rededor de la vertical, lo que se hace manifiesto suspendiendo de un alambre metálico fino y muy largo una bola de unos 10 centímetros de diámetro, de modo que estando en reposo coincida con el centro de un gran círculo graduado, por cuyo medio se reconoce tambien cuanto gira en un tiempo determinado. Este aparato imaginado por M. Foucoult, que lo llamó *giroscopo*, en tiempos iguales recorre arcos diferentes, en las diferentes latitudes; en Madrid este arco es de 9°42′ por hora, y en Lóndres de 10° 48′, en el polo seria de 15° y en el Ecuador se reduce á cero, y así en una latitud cualquiera l se representa por 15° sen.l.

180. En cuanto al péndulo compuesto, concibiendo muchos puntos pesados B, B′, B″,.... (Fig. 53) suspendidos por un hilo AB, si estos puntos estuviesen desunidos harian sus oscilaciones en

(Fg. 53).

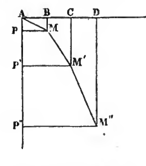
tiempos desiguales, esto es, B′ mas presto que B, B″ mas aun, que B′, etc., (174); pero estando íntimamente unidos entre sí, los menos distantes del punto A de suspension serán retardados por los mas distantes, y estos serán acelerados por los menos distantes, por lo que la oscilacion del péndulo compuesto se hará eu un tiempo medio entre el máximo y el mínimo de los tiempos desiguales, y así en la recta AB, habrá un cierto punto B^{m}, que hará sus oscilaciones como si estuviese solo y sin ningun enlace con los demás: este punto se llama *centro de oscilacion*, y su distancia al punto de suspension es la longitud de aquel péndulo simple, que hiciese las oscilaciones en el mismo tiempo, que las hace el péndulo compuesto. *Por tanto las oscilaciones del péndulo compuesto son tambien isócronas.*

182. Sea t el tiempo que emplea un cuerpo en caer libremente por el diámetro vertical $2r$, que es igual al que emplearia cayendo por una cuerda cualquiera (165) se tendrá $2r = g\frac{t^2}{2}$ de donde $t = 2\sqrt{\frac{r}{g}}$; además por la fórmula del péndulo es $\frac{T}{2} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{r}{g}}$, luego $\frac{t}{2} : T :: \frac{\pi}{2} : 2 :: \pi : 4 :: 3{,}14159 : 4$, luego *un cuerpo emplea menor tiempo en caer por un pequeño arco circular, que en caer por la cuerda del mismo arco.*

CAPÍTULO XI.

DEL MOVIMIENTO DE LOS PROYECTILES.

182. Se llama *proyectil* un móvil que impulsado por una fuerza en cualquiera direccion, está sujeto al mismo tiempo á la accion de la gravedad. La distancia horizontal que va desde el punto de partida hasta el punto á que es arrojado, se dice *amplitud ó alcance:* el camino ó curva trazada por el proyectil toma el nombre de *trayectoria*, y finalmente se llama *ángulo de proyeccion* el que se forma con la primera direccion del móvil y el horizonte.

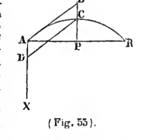


(Fig. 54).

183. *La curva trazada por un grave arrojado en una direccion paralela ú oblícua al horizonte es una parábola.* En efecto represente AB (Fig. 54) el espacio que el móvil puede correr en la unidad de tiempo, en virtud de la fuerza de proyeccion, y AP sea la altura de donde bajaria por efecto de la gravedad en la misma unidad de tiempo; tirando las rectas PM y BM paralelas á las rectas AB y AP, el móvil despues de aquel tiempo

se hallará en M (72); tomando luego AC doble de AB, y AP'= 4AP, y tiradas las paralelas P'M' y CM', despues de dos unidades de tiempo el móvil llegará á M', así tomando AD=3AB y AP''=9AP, y tiradas las paralelas P''M'' y DM'' despues de tres unidades de tiempo se hallará en M'', y así sucesivamente. Y como la gravedad tiene una accion contínua sobre el móvil, la unidad de tiempo será de una duracion infinitamente pequeña, por lo que las diagonales AM, MM', M'M'', siendo infinitamente pequeñas, formarán una curva, á la que será tangente AD. Tenemos pues AP : AP' : AP'' : : 1 : 4 : 9; AB : AC : AD : : 1 : 2 : 3; cuadrando los términos de la segunda y comparándola con la primera resulta AP : AP' : AP'' : : $\overline{AB}^2 : \overline{AC}^2 : \overline{AD}^2$ esto es, *las abscisas son proporcionales á los cuadrados de las ordenadas*, que es una de las propiedades de la parábola, luego los puntos M, M', M'' pertenecen á una parábola. Y como esta demostracion no depende del ángulo, que la línea de proyeccion hace con la vertical, es aplicable á los cuerpos arrojados bajo un ángulo cualquiera. El precedente teorema puede comprobarse experimentalmente con el aparato de M. Morin, el cual consiste en un cilindro que gira con movimiento uniforme por medio de un sistema de relojería: sobre su superficie convexa se envuelve un papel, contra el cual se apoya la punta de un lápiz, que al caer verticalmente, traza una curva sobre el papel que se reconoce ser una parábola producida por el simultáneo impulso de los dos movimientos horizontal y uniforme del cilindro, y vertical y uniformemente acelerado del lápiz.

184. *La parábola descrita por el proyectil tiene por diámetro la vertical, que pasa por el punto de proyeccion, y por parámetro el cuádruplo de la altura debida á la velocidad de impulsion.* Porque sea AB (fig. 55), la velocidad comunicada al móvil, y resuélvase en dos, una horizontal AP, y otra vertical BP, que por esto motivo disminuirá de una cantidad por ej. BC, y así el móvil despues de un cierto tiempo t se hallará en un punto mas bajo C; sea v la velocidad de impulsion, se tendrá $AB=vt$ (147) así tambien siendo C el punto á que llegó el móvil por efecto de la gravedad será $BC=\frac{1}{2}gt^2$: tirada pues la vertical AX y CD paralela á AB, y haciendo $AD=x$, $CD=y$, se tendrá $y=vt$, $x=\frac{1}{2}gt^2$, de las cuales eliminando t, será $y^2=\frac{2v^2x}{g}$: llamando a la altura debida á la velocidad de impulsion, se tiene $v^2=2g.a$ (153), cuyo valor substituido en la ecuacion precedente, da $y^2=4a.x$, esto es, la curva tiene por diámetro AX y por parámetro $4a$ que es el cuádruplo de la altura debida á la velocidad de impulsion.



(Fig. 55).

185. Refiriendo los diferentes puntos de la curva ACR á la horizontal AR por medio de la perpendicular CP, y haciendo $AP=z$, $CP=u$ y t=tangente del ángulo de proyeccion BAR, será $t=\frac{BP}{z}$, de donde $BP=tz$, además $\overline{AB}^2=\overline{AP}^2+\overline{BP}^2$, y $BC=BP-CP$, en las cuales ecuaciones introducidos los valores precedentes, será $y^2=$

$z^2+t^2z^2$ y $x=tz-u$, substituyendo estos valores en la ecuacion $y^2=4ax$, se tendrá $z^2+t^2z^2=4atz-4au$, que comprende todos los elementos del movimiento de los proyectiles; así en las bocas de fuego, a expresa la fuerza de la pólvora, t da el ángulo bajo el cual se debe hacer el tiro, las coordenadas z, u, determinan la situacion del blanco.

186. Llamando a la altura debida á la velocidad de impulsion, z la distancia horizontal, y u la distancia vertical del blanco, si se quiere conocer el ángulo bajo el cual debe arrojarse el proyectil, se despeja t en la ecuacion precedente y resulta $t^2z^2-4atz=-4au-z^2$, de donde $t=\frac{2a\pm\sqrt{4a^2-4au-z^2}}{z}$. Si la cantidad $4au+z^2$ es menor que $4a^2$, quedando un residuo debajo del radical, la tangente t tendrá dos valores, ó sea, se podrá dar al blanco con dos diferentes ángulos; el menor sirve para abrir brecha, y el mayor para arrojar bombas. Si $4au+z^2=4a^2$ el radical desaparece, y t tendrá un solo valor. Pero si $4au+z^2>4a^2$, quedando debajo del radical una cantidad negativa, es indicio que t no tiene valor alguno, ó que su valor es absurdo.

187. Queriendo determinar la amplitud de la curva, ó sea el alcance horizontal del tiro, se hará $u=o$ y la ecuacion fundamental se reduce á $z^2+t^2z^2=4atz$, de donde $z=o$, $z=\frac{4at}{1+t^2}$; el primer valor indica el punto de partida, y el segundo la amplitud de la curva. Sustituyendo en esta ecuacion el valor de $t=\frac{\text{sen.}}{\text{cos.}}$ del ángulo A de proyeccion, se tendrá $z=4a.\text{sen.A}\cos.\text{A}$; pero este valor es el mismo, si en vez de A se pone su complemento $90-\text{A}$, porque resulta $z=4a.\cos.\text{A}\,\text{sen.A}$, luego los dos valores A y $90-\text{A}$ que equidistan de 45°, dan el mismo alcance.

188. Por la trigonometría se tiene $\text{sen.A}\cos.\text{A}=\frac{1}{2}\,\text{sen.2A}$, cuyo valor sustituido en la ecuacion precedente, da $z=2a\,\text{sen.2A}$ y si $\text{A}=45^\circ$, resulta $z=2a$, luego *entre las proyecciones hechas con la misma fuerza, la de* 45°, *da el máximo alcance.* Arrojando pues dos proyectiles con la misma fuerza, se tendrá $z=2a\,\text{sen.2A}$, $z'=2a\,\text{sen.2A}'$, de donde $z:z'::\text{sen.2A}:\text{sen.2A}'$ esto es, *los alcances son proporcionales á los senos del doble ángulo de proyeccion;* y como todos los alcances se suelen comparar con el de 45°, que es el máximo, puesto $\text{A}=45^\circ$ será $z:z'::1:\text{sen.2A}'$, de donde $z'=z\,\text{sen.2A}'$, esto es, *el alcance bajo un ángulo cualquiera, es igual al alcance máximo, multiplicado por el seno del doble ángulo de proyeccion.*

189. Desde el punto medio del alcance AR levantada la perpendicular PC, esta medirá la máxima elevacion de la parábola: luego $\text{AP}=2a\,\text{sen.A}\cos.\text{A}$, substituyendo este valor en la ecuacion fundamental, será $4a^2\,\text{sen.}^2\text{A}\cos.^2\text{A}+t^2 4a^2\times\text{sen.}^2\text{A}\cos.^2\text{A}=8a^2t\,\text{sen.A}\cos.\text{A}-4au$, que dividida por $4a$, y en vez de t puesto su valor $\frac{\text{sen.A}}{\cos.\text{A}}$ y despejando u se tendrá $u=2a.t\,\text{sen.A}\cos.\text{A}-a\,\text{sen.}^2\text{A}\cos.^2\text{A}-at^2\,\text{sen.}^2\text{A}\cos.^2\text{A}=$

$$2a.\frac{\text{sen.A}}{\cos.\text{A}}\,\text{sen.A}\cos.\text{A}-a.\,\text{sen.}^2\text{A}.\cos.^2\text{A}-a.\frac{\text{sen.}^2\text{A}}{\cos.^2\text{A}}\,\text{sen.}^2\text{A}\cos.^2\text{A}=$$

$2a.\,\text{sen.}^2\text{A}-a.\,\text{sen.}^2\text{A}\,(\text{sen.}^2\text{A}+\cos.^2\text{A})=a.\,\text{sen.}^2\text{A}$, esto es, *la máxima elevacion del proyectil, ó sea de la parábola que describe, es igual al producto de la altura debida á la velocidad de proyeccion por el seno cuadrado del ángulo.*

190. Solamente en el vacío la curva trazada por el proyectil es una parábola perfecta, porque en un medio resistente, ni el movimiento segun la línea de proyeccion es uniforme, ni el que tendria lugar segun la vertical es uniformemente acelerado; por lo que, la curva descrita tiene menor altura y amplitud que la que tendria en el vacío; además los dos ramos de la curva son desemejantes, porque resuelta la velocidad de proyeccion en dos, una vertical y otra horizontal, la vertical disminuirá por efecto de la resistencia del aire y

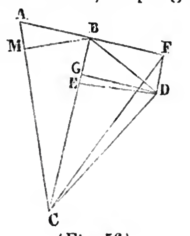
de la gravedad, por cuyo motivo se levantará menos que en el vacío; pero al bajar, la gravedad le comunicará los grados de velocidad perdidos por la resistencia del medio, tomando un movimiento que se acercará sensiblemente al movimiento uniforme (161); pero la velocidad horizontal siempre irá disminuyendo, sin que alguna fuerza resarza sus pérdidas, y así el móvil, segun la línea horizontal, no podrá pasar de un cierto límite, que será como la asyntota de la curva, al cual se irá continuamente acercando, sin llegar jamás á tocarlo.

CAPÍTULO XII.

DE LAS FUERZAS CENTRALES.

191. Un móvil solicitado al mismo tiempo por una fuerza de impulsion, y por una contínua, que tiende á separarle de su direccion, como se dijo, traza una curva llamada *trayectoria*. Si la fuerza contínua tiende á acercarlo á un punto fijo, se llama *fuerza centrípeta*, y si tiendo á alejarlo de él, se dice *fuerza centrífuga;* ambas á dos toman el nombre de *fuerzas centrales*. El punto fijo se llama *centro* de las fuerzas, y la recta tirada desde el centro á un punto cualquiera de la curva se dice *radio vector*.

192. *Un cuerpo que gira al rededor de un punto en virtud de una fuerza de impulsion y de una fuerza central, describe las areas, comprendidas por los radios vectores y el arco de la curva, proporcionales á los tiempos*. Substituyendo, á la curva que el móvil describe, un polígono de un número infinito de lados infinitamente pequeños, sea AB (fig. 56), uno de ellos; cuando el móvil habrá llegado á B, si la fuerza centrípeta cesase de obrar no cambiándose la velocidad y direccion del móvil, éste en el siguiente instante correria sobre la prolongacion de AB un espacio BF=AB; pero como la fuerza centrípeta tira al móvil hácia C, de modo que obrando sola. le haria correr un cierto espacio BG, así el móvil deberá describir la diagonal BD. Ahora los triángulos BCF y BCD son equivalentes, porque además de la base comun CB, tienen sus vértices en la paralela FD; tambien los triángulos ACB y BCF son equivalentes, por tener sus bases y alturas iguales, luego los triángulos ACB y BCD descritos en tiempos iguales, son equivalentes; y así á un tiempo doble, triple, etc., corresponderá una area doble, triple, etc., esto es, las areas serán proporcionales á los tiempos.

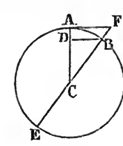


(Fig 56).

193. Supóngase al revés que las areas descritas por un móvil son proporcionales á los tiempos del movimiento; en tal caso la fuerza que solicita al móvil, se dirige constantemente hácia un punto fijo. Porque siendo iguales las areas ACB y BCD, prolongando la recta AB de una cantidad igual BF, y uniendo el punto F con el punto C, el triángulo BCF equivalente al triángulo ACB, será tambien equivalente al triángulo BCD, luego teniendo estos dos triángulos la misma base BC, tendrán tambien igual altura, y por consiguiente la recta FD, que une sus vértices, será paralela á la base: pero la recta FD es siempre paralela á la direccion de la fuerza, que obra en B, luego la direccion de esta fuerza coincide con la recta BC, esto es, se dirige hácia un punto fijo.

194. Como las bases AB y BD de los triángulos infinitésimos y equivalentes representan los espacios, que el móvil describe en instantes iguales, estos espacios serán proporcionales á las velocidades efectivas del móvil en los puntos A y B, pero en los triángulos equivalentes las bases están en razon inversa de las alturas, luego las velocidades efectivas del móvil en los diferentes puntos de la curva están en razon inversa de los normales bajadas desde el centro de las fuerzas á las tangentes tiradas en aquellos mismos puntos de la curva, donde el móvil se halla. Por lo que el movimiento será uniforme, si la curva descrita es un círculo, siendo en este las normales iguales á su radio; pero si la curva descrita no es un círculo, el móvil girando, tanto mas acelerará su movimiento, cuanto mas cercano se hallará al centro de las fuerzas.

195. En los triángulos ABC y BCD descritos en instantes iguales tírense dos arquitos circulares BM, DE, que por ser pequeñísimos medirán sus alturas, y así será $\frac{BM.AC}{2}=\frac{DE.BC}{2}$, de donde $BM : DE :: BC : AC :: \frac{1}{AC} : \frac{1}{BC}$; ahora los ángulos que subtienden estos arquitos están en razon directa de los mismos arcos que los miden, y en la inversa de los radios con que están descritos, porque cuanto menores son estos tanto mayor es el número de grados que comprenden, por lo que será $ACB : BCD :: \frac{BM}{AC} : \frac{DE}{BC} :: \frac{1}{\overline{AC}^2} : \frac{1}{\overline{BC}^2}$, lo que espresa que *en toda trayectoria las velocidades angulares*, es decir los ángulos formados por los radios vectores, *están en razon inversa de los cuadrados de los mismos radios vectores.*



(Fig. 57.)

196. Como las fuerzas centrípeta y centrífuga obran en direccion contraria, en el círculo estas dos fuerzas serán tambien iguales, porque si una fuese mayor que otra, el móvil ya se acercaria al centro, ya se alejaria de él. Sea pues AB (fig. 57) un arco circular infinitésimo, que corre un móvil en el tiempo t, AD representará el espacio debido á la fuerza central, y AF el de la fuerza de proyeccion, por lo que llamando φ á la primera, se tendrá AD =

$\varphi \frac{t^2}{2}$ (152) el arco AB sumamente pequeño se confunde con su cuerda, y siendo corrido con movimiento uniforme (194) da $AD = \frac{\overline{AB}^2}{2r} = \frac{v^2t^2}{2r}$ luego $\frac{\varphi t^2}{2} = \frac{v^2t^2}{2r}$, de donde $\varphi = \frac{v^2}{r}$, esto es, *la fuerza central en una curva circular, es igual al cuadrado de la velocidad dividida por el radio.*

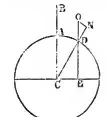
197. Girando una masa m por una curva circular, el producto $\varphi.m$ representará la cantidad de movimiento (68), ó sea, la fuerza centrífuga absoluta de la masa m, que llamándola F, será $F = \varphi.m = \frac{mv^2}{r}$; y para otra masa m' será $F' = \frac{m'v'^2}{r'}$; luego $F : F' :: \frac{mv^2}{r} : \frac{m'v'^2}{r'}$, esto es, *las fuerzas centrífugas de dos móviles, son como sus masas* multiplicadas por el cuadrado de su velocidad, partidas por el radio de la circunferencia que describen. Sean pues estas circunferencias $2\pi r$, $2\pi r'$, y T, T' los tiempos empleados en una revolucion, siendo estos movimientos uniformes, será $v = \frac{2\pi r}{T}$, $v' = \frac{2\pi r'}{T'}$, cuyos valores sustituidos en la proporcion precedente, dan $F : F' :: \frac{mr}{T^2} : \frac{m'r'}{T'^2}$, que expresa, que *las fuerzas centrífugas están en razon directa de las masas y de los radios de los círculos que describen, y en la inversa de los cuadrados de los tiempos de sus revoluciones.*

198. Girando la tierra al rededor de su eje, la fuerza centrífuga será máxima en el ecuador, porque allí los cuerpos describen un círculo máximo, é irá disminuyendo hasta los polos, donde será cero; y como la fuerza centrífuga se opone á la accion de la gravedad, los cuerpos pesarán tanto menos, cuanto mayor sea aquella fuerza; además dicha fuerza centrífuga en el Ecuador es directamente opuesta á la gravedad, luego representando por G la atraccion total de la tierra, será $g = G - \varphi = G - \frac{v^2}{r}$; siendo $v = \frac{2\pi r}{T}$, será $g = G - \frac{4\pi^2 r}{T^2}$, de donde $G = g + \frac{4\pi^2 r}{T^2}$; ahora $\pi = 3{,}1415926$, el radio r del ecuador$=6376984$ metros, $T = 0{,}99729$ dias$=86164''$, y $g = 9{,}78$ (177), luego $G = 9{,}78 + 0{,}0339 = 9{,}8139$; que es la fuerza total de la atraccion de la tierra en el ecuador.

199. Comparando la fuerza centrífuga con la atraccion total, se tendrá $\varphi : G :: 0{,}0339 : 9{,}8139 :: 1 : 289$, esto es, *la fuerza centrífuga en el Ecuador es* $\frac{1}{289}$ *de la gravedad absoluta.* Así pues, si la tierra girase con una velocidad 17 veces mayor, los cuerpos cesarian de pesar en el Ecuador, porque llamando F' á la nueva fuerza centrífuga y ésta estando en razon inversa del cuadrado de los tiempos de sus revoluciones, se tendria $\varphi : T' :: (\frac{1}{17})^2 : (1)^2 :: 1 : 289$, de donde

$F' = 289\varphi$; pero $G = 289\varphi$, luego $F' = G$, esto es la fuerza centrífuga seria igual á la gravedad.

200. Para determiuar la fuerza centrífuga de la tierra opuesta á la gravedad en una latitud cualquiera , sea C (fig. 58), el centro de la tierra AC el radio del Ecuador , y DE el de un paralelo : represéntese la fuerza centrifuga en A por la recta AB, y eu D por DO; tirado el radio CD, y resuelta la fuerza DO en dos DN y NO la primera en la direccion del radio CD, y la otra en una direccion normal; se tendrá AB : DO : : AC (=DC) : DE (197); los triángulos semejantes DCE, DNO dan DO : DN :: DC : DE, multiplicando ordenadamente las dos proporciones resulta $AB : DN :: DC^2 : DE^2$, ahora $DC = R = 1$ y $DE = \cos.AD$, luego $AB : DN :: 1 : \cos.^2 AD$, de donde $DN = AB. \cos^2.AD$, esto es, *la fuerza centrífuga opuesta á la gravedad en una latitud cualquiera , es igual á la fuerza centrífuga en el Ecuador por el coseno cuadrado de la latitud.*



(Fig. 58).

201. Siendo la fuerza centrífuga en el Ecuador $\varphi = 0,0339^m$, por la fórmula precedente en el paralelo de 79° 50′ será $\varphi = 0,00106^m$, ahora siendo la atraccion total de la tierra G=9,8139 metros, se sigue que en el paralelo 79° 50, deberia ser la gravedad 9=9,8128; pero por el péndulo resulta en dicha latitud $g = 9,8305$ (177), luego el paralelo de 79° 50′, está mas cercano al centro de la tierra, que el Ecuador, lo que indica que la tierra es un esferoide aplanado por los polos.

CAPÍTULO XIII.

DEL CHOQUE DE LOS CUERPOS.

202. Cuando dos cuerpos se encuentran , el movimiento pasa del uno al otro segun algunas leyes , que dependen de la naturaleza de los cuerpos , y de la direccion de su movimiento. En cuanto á su naturaleza los cuerpos se dividen en duros , blandos y elásticos. Se llaman ***duros***, los que en el choque no ceden á la compresion ; ***blandos***, los que ceden , quedando comprimidos ; y ***elásticos*** , los que se comprimen , pero cesando la fuerza que los comprime, vuelven por sí mismos á su primitivo estado ó volúmen. Como los cuerpos perfectameute duros no cambian de forma por el choque y los blandos no recobran la que antes tenian, en el choque se muestran meramente pasivos; por lo que el movimiento se trasmite en ellos con las mismas leyes.

203. La direccion del movimiento puede ser directa ú oblícua , segun que el choque es directo , ú oblícuo. El choque *directo* es el que tiene lugar segun la recta que pasa por los centros de gravedad

de los cuerpos, y es perpendicular al plano tangente de las superficies de los dos cuerpos, que se chocan; sino se verifican estas condiciones, el choque se dice *oblícuo.*

204. *Chocándose dos cuerpos esféricos perfectamente duros ó blandos, con un choque directo, la velocidad de ambos despues del choque, será igual á la suma ó á la diferencia de sus cantidades de movimiento antes del choque dividida por la suma de sus masas, segun que los dos cuerpos avanzan en un mismo sentido ó en sentido opuesto.* Porque si se supone que los cuerpos van en un mismo sentido y se representan sus masas por m y m' y sus velocidades por v y v', alcanzando la masa m á la masa m', la empujará hácia adelante, hasta que las dos tengan la misma velocidad; pero como los cuerpos por su inércia resisten al cambio, que el choque tiende á producir en ellos, necesariamente el movimiento ganado por el cuerpo chocado deberá ser igual al que perderá el chocante, por lo que llamando u á la velocidad comun despues del choque, la velocidad perdida de la masa m, será $v-u$, y la adquirida por la masa m' será $u-v'$, y así se tendrá $m(v-u)=m'(u-v')$, de donde $u=\frac{mv+m'v'}{m+m'}$. Si los dos cuerpos avanzan en sentidos contrarios, sus velocidades serán opuestas, por lo que haciendo v positivo, v' será negativa, y se tendrá $u=\frac{mv-m'v'}{m+m'}$.

205. Suponiendo que la masa m' esté en reposo, será $v'=o$, y así la velocidad de los dos cuerpos despues del choque será $u=\frac{mv}{m+m'}$; y si tambien las masas son iguales, será $u=\frac{mv}{2m}=\frac{v}{2}$, esto es, *ambos cuerpos despues del choque se moverán con la mitad de la velocidad del cuerpo chocante;* pero si la masa chocada es infinitamente grande con respecto al cuerpo chocante, se tendrá $u=\frac{mv}{m+\infty}=o$, que indica que el cuerpo chocante quedará en reposo.

206. Cuando dos cuerpos elásticos se encuentran, la resistencia que mútuamente se oponen los hace comprimir, hasta que sus centros de gravedad hayan tomado la misma velocidad: entonces cesando la fuerza de compresion, las moléculas comprimidas vuelven á su primitiva posicion con la misma fuerza, que la que las habia comprimido, y así el cuerpo chocante vuelve otra vez á chocar con igual fuerza, y el cuerpo chocado opone igual reaccion; por lo que el primero sufre una doble pérdida de velocidad representada por $2(v-u)$, y el segundo hace una doble ganancia, ó sea $2(u-v')$: llamando pues V y V′ á las velocidades despues del choque, será

$$V=v-2(v-u)=2u-v=2\times\frac{mv+m'v'}{m+m'}-v=\frac{(m-m')v+2m'v'}{m+m'}$$

$$V'=v'+2(u-v')=2u-v'=2\times\frac{mv+m'v'}{m+m'}-v'=\frac{(m'-m)v'+2mv}{m+m'}$$

207. Si las masas elásticas son iguales, se tendrá $V=v'$, $V'=v$, esto es, *en el choque se permutan sus velocidades*. Si además $v'=o$, lo que indica que la masa chocada está en reposo, será $V=o$, $V'=v$: por lo que puestas á contacto muchas masas iguales, si á la primera se le comunica una cierta velocidad, todas quedarán en reposo á excepcion de la última, que tendrá toda la velocidad de la primera. Si la velocidad se comunica á las dos primeras, todas quedarán en reposo, menos las dos últimas, y así sucesivamente. Si la masa del cuerpo chocante es mayor que la del chocado en reposo, despues del choque ambas se moverán en el sentido de la mayor, porque siendo $m > m'$, V y V' quedan positivas; pero si $m < m'$, V' será positiva y V negativa, esto es, el cuerpo chocante retrocederá despues del choque.

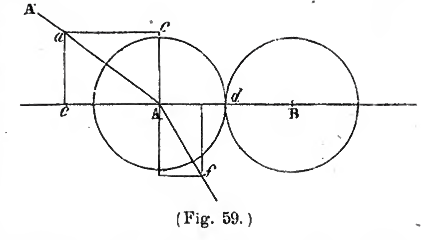
208. Encontrándose las dos masas en sentidos contrarios v' será negativa con relacion á v, y así las fórmulas superiores serán $V=\frac{(m-m')v-2m'v'}{m+m'}$, $V'=\frac{(m-m')v'+2mv}{m+m'}$. En esta hipótesis sea $v=v'$, se tendrá $V=\frac{m-3m'}{m+m'}\times v$, $V'=\frac{3m-m'}{m+m'}\times v$; luego si $m=3m'$ será $V=o$, $V'=2v$, que indica, que *la masa menor parará á una masa tres veces mayor, retrocediendo luego con una velocidad doble de la que antes tenia.*

209. Como jamás los sólidos son perfectamente elásticos, la velocidad perdida por el cuerpo chocante no será $2(v-u)$, sino algo menor, y lo mismo se diga de la velocidad adquirida por el cuerpo chocado; por lo que llamando n al coeficiente, que expresa el grado de elasticidad de los dos cuerpos, se tendrá $n(v-u)$ velocidad perdida por el cuerpo chocante, y $n(u-v')$ velocidad adquirida por el cuerpo chocado; y así las fórmulas serán $V=v-n(v-u)$, $V'=v'-n(u-v')$. Ahora para determinar el coeficiente n, supóngase la masa m' en reposo, y obsérvese la velocidad V de la masa m despues del choque. Sea por ej. $m=6$, $m'=5$, $v=4$, $v'=o$, y supongamos que la experiencia haya dado $V=2$, sustituyendo el valor de u se tendrá $V=v-\frac{nm'v}{m+m'}$, ó sea $2=4-\frac{20n}{11}$, de donde $n=\frac{22}{20}=\frac{11}{10}$.

210. *En el choque de los cuerpos elásticos, la suma de las fuerzas vivas antes del choque es igual á la suma de las mismas fuerzas despues del choque.* Llámase *fuerza viva* el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad. La suma de las fuerzas vivas despues del choque es (206), $mV^2+m'V'^2=m(2u-v)^2+m'(2u-v')^2=4u^2(m+m')-4u(mv+m'v')+mv^2+m'v'^2=4u^2(m+m')-4u.u(m+m')+mv^2+m'v'^2=mv^2+m'v'^2$, que es la suma de las fuerzas vivas antes del choque.

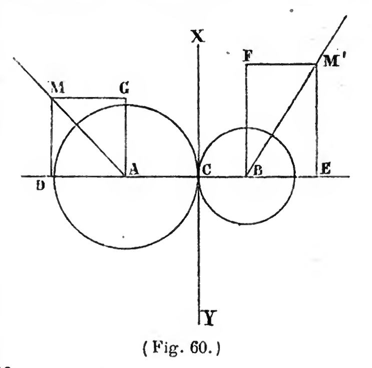
211. Supongamos que la bola A (fig. 59), con movimiento oblícuo vaya á chocar en el punto d con la bola B en reposo y segun la direccion A'a, siendo estas masas de pequeño volúmen y de densidad uniforme. Resolviendo la velocidad expresada por Aa en dos, de las cuales una Ae pase por el centro de la bola B, y la otra Ac sea normal á la primera, esta expresará la fuerza y direccion del choque y

la segunda Ac, no sufriendo resistencia alguna, se conservará entera despues del choque, y determinará el movimiento ulterior del cuerpo chocante, y así se tendrán sus velocidades y direcciones por medio de las fórmulas dadas para los cuerpos elásticos. Así suponiendo las bolas iguales y elásticas, la bola B se moverá con toda la fuerza Ae (207), y la bola A no conservando sino la fuerza Ac, se moverá con la velocidad expresada por esta fuerza y segun su direccion. Pero si las bolas no son elásticas, la bola B se moverá con la mitad de la fuerza Ae y segun la misma direccion; y la bola A conservando la otra mitad, y toda la fuerza Ac, seguirá la diagonal Af, que representará su velocidad y direccion.



(Fig. 59.)

212. Queriendo determinar el movimiento de los cuerpos esféricos A y B (fig. 60), que se encuentran en direccion oblícua, sea C el punto donde chocan, y resuélvanse las fuerzas representadas por AM y BM′ en las dos AG y BF paralelas al plano tangente XY, y en las dos AD, BE normales al mismo plano, las dos primeras no contribuyendo al choque, quedarán las mismas despues de él, y las otras dos producirán el movimiento en direccion contraria, por lo que por medio de las fórmulas dadas se calculará la velocidad y direccion que tomarán las dos bolas despues del choque.

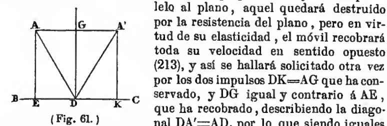


(Fig. 60.)

213. Si un móvil va á chocar directamente contra un obstáculo insuperable, este obstáculo podrá considerarse como una masa sumamente grande con relacion al cuerpo chocante; por lo que las fórmulas para los cuerpos no elásticos darán $u=o$; y para los cuerpos elásticos $V=-v$, $V'=o$, esto es, *el cuerpo chocante se moverá en sentido contrario con toda la velocidad que tenia antes del choque.* Este movimiento se llama *movimiento reflejado.*

214. Chocando un móvil no elástico en una direccion oblícua contra la superficie de un obstáculo insuperable, este no opondrá sino una resistencia imperfecta, porque descomponiendo el movimiento del cuerpo en dos, uno perpendicular á la superficie del obstáculo, y el otro paralelo, el primero solamente quedará destruido, pero no el segundo; por lo que el móvil continuará moviéndose sobre la superficie del obstáculo.

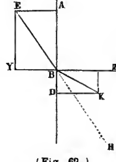
215. Si el móvil es elástico, descompuesto el impulso oblícuo AD en dos, AE y AG (fig. 61), el primero perpendicular y el otro paralelo al plano, aquel quedará destruido por la resistencia del plano, pero en virtud de su elasticidad, el móvil recobrará toda su velocidad en sentido opuesto (213), y así se hallará solicitado otra vez por los dos impulsos DK=AG que ha conservado, y DG igual y contrario á AE, que ha recobrado, describiendo la diagonal DA′=AD, por lo que siendo iguales



(Fig. 61.)

los triángulos AGD, A′GD, el ángulo de incidencia ADG será igual al ángulo de reflexion GDA′, esto es, *chocando un móvil oblícuamente contra un plano immóvil y elástico, rebotará formando el ángulo de reflexion igual al de incidencia.*

216. Cuando un móvil encuentra un obstáculo no insuperable, como por ej. un líquido, su velocidad disminuye. Si el choque tiene lugar en una direccion normal á la superficie del obstáculo, la resistencia que este opone es directamente contraria á la direccion del movimiento; pero esta direccion no cambia porque llamando v á la velocidad antes del choque y V á la que tiene despues del choque, será $V=v-\frac{nm'v}{m+m'}=v\left(1-\frac{nm'}{m+m'}\right)$, la cual ecuacion manifiesta que el móvil va continuando adelante su movimiento, aunque con menor velocidad. Y como ésta disminuye por efecto de la resistencia que opone la densidad del medio que el móvil penetra, se sigue que pasando sucesivamente por medios de diferente densidad, las resistencias que experimentará serán proporcionales á las densidades de estos medios.



(Fig. 62.)

217. Pasando un móvil E (fig. 62), en una direccion oblícua, desde el medio AY al medio YD, resuélvase su velocidad en dos, una paralela EA, que se conservará sin alteracion, y otra EY normal á la superficie que disminuirá, convirtiéndose por ej. en BD, por lo que el móvil seguirá la diago-

nal BK apartándose de su primera direccion EBH. Este movimiento se llama *movimiento refractado.*

218. Pasando pues un móvil de un medio á otro, se alejará ó acercará á la normal levantada en el punto de encuentro, segun que de un medio menos denso pasará á otro mas denso ó al revés. Por lo que si el ángulo de incidencia EBA es muy grande y el medio YD es mas denso que el medio AY, debiendo ser siempre mayor el ángulo de refraccion DBK que el de incidencia, podrá suceder que el móvil tome, no solamente una direccion paralela á la superficie YZ, sino tambien que se refleje sobre la misma superficie, como si hubiese encontrado un obstáculo insuperable, lo que es fácil observar echando piedras sobre la superficie del agua en una direccion muy oblícua.

LIBRO TERCERO.

HIDRÁULICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

DEL EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS.

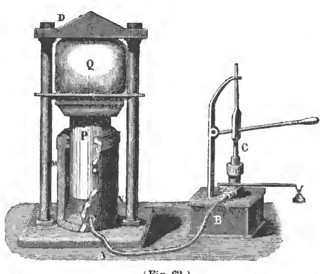
219. La *Hidráulica* es la ciencia que trata de los flúidos; la parte que considera su equilibrio se llama *Hidrostática*, y la que trata de su movimiento se dice *Hidrodinámica*. Por *flúido* se entiende una reunion de moléculas perfectamente movibles en todas direcciones, é independientes las unas de las otras. El flúido se llama *homogéneo*, si está compuesto de moléculas de la misma naturaleza. Los flúidos se dividen en *compresibles* é *incompresibles*: los primeros como el aire fácilmente se dejan comprimir; los segundos como el agua resisten fuertemente á la compresion. Los flúidos incompresibles comunmente se llaman *líquidos* y los compresibles *gases*.

220. *Los líquidos trasmiten igualmente en todos sentidos las presiones ejercidas sobre su superficie.* En efecto, si la superficie del líquido se oprime con un émbolo, su esfuerzo estará sostenido por las moléculas de la misma superficie, las cuales cederian, si tambien no estuviesen sostenidas por las moléculas de la capa inmediata, y así sucesivamente: de modo que la presion hecha en la superficie va trasmitiéndose de unas moléculas á otras por toda la masa; pero siendo estas moléculas sumamente movibles, no podrian quedar en reposo, si no estuviesen igualmente oprimidas por todos lados; de lo contrario cederian por aquella parte por donde sufriesen menor presion. Luego la presion hecha en la superficie se comunica igualmente á toda la masa.

221. Esta propiedad de los líquidos los hace distinguir de los sólidos, los cuales por la trabazon de sus moléculas no pueden obrar sino en un solo sentido, y solicitados por la gravedad no caen, ni ejercen presion alguna, sino en la direccion de la vertical; los líquidos al contrario, por la perfecta movilidad de sus moléculas obran en todas direcciones, y solicitados por la gravedad ejercen una presion en

todos sentidos. De aquí se sigue que los sólidos pueden mantenerse en equilibrio sostenidos por un solo punto ; pero los líquidos deben estar sostenidos en todas sus moléculas.

222. Con este principio se esplica el efecto de la *prensa hidráulica.* Este aparato consiste en una capacidad cilíndrica MN (fig. 63), que comunica por un tubo AB con una bomba aspirante C, por medio de la cual se introduce el agua en dicha capacidad. En esta se ajusta perfectamente un cilindro macizo P encima del cual está el cuerpo Q que se quiere comprimir contra un plano fijo D. El agua introducida debajo del cilindro lo obliga á levantarse, produciendo una presion igual á la superficie oprimida multiplicada por la presion del émbolo de la bomba.

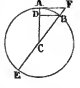


(Fig. 63.)

223. La superficie libre de un líquido pesado en equilibrio es en todos sus puntos normal á la direccion de la gravedad. Porque estando solicitada cada molécula de la masa líquida á bajar verticalmente por efecto de su peso, en virtud de su movilidad deberá bajar realmente, cuanto le sea posible, lo que sucederá hasta que todas las moléculas libres estén á una misma distancia del centro de la tierra, ó sea, cuando su superficie sea normal á la direccion de la gravedad.

224. La superficie libre de un líquido se llama *nivel* ó plano de nivel, y supuesta la tierra de figura esférica, el nivel será una porcion de superficie esférica, cuyo centro será el de la tierra. Por lo que si las dimensiones de esta superficie son muy pequeñas, con re–

lacion al radio de la tierra, la superficie de un líquido será sensiblemente plana. La desviacion BF (fig. 57), de la superficie de la tierra del plano tangente FA, se obtendrá por la ecuacion $\overline{AF}^2$=BF.FE= BF (BF+BE)=$\overline{BF}^2$+BF.2BC, y despreciando $\overline{BF}^2$ como cantidad sumamente pequeña con relacion al diámetro de la tierra, será $BF=\frac{\overline{AF}^2}{2BC}$. Siendo pues, el radio medio de la tierra=6366745 metros, si AF= 100, 1.000, 10.000, 100.000... metros BF será igual á metros 0,01, 0,08, 7,85, 785,33... Así se entiende porque un observador colocado en la playa del mar, descubre primero las puntas de los mástiles, y luego la parte mas voluminosa de la nave. Al contrario estando en alta mar, primero descubre las cumbres de las montañas, y luego los valles, etc.



(Fig. 57.)

225. La presion que sufre una molécula cualquiera de un líquido pesado en equilibrio, es igual al peso de un prísma del mismo líquido, que tiene por base la molécula oprimida, y por altura su distancia al plano de nivel. Porque oprimiendo cada molécula á las inferiores por efecto de su peso, esta presion será tanto mayor, cuanto mayor sea el número de moléculas que estén encima. Así introduciendo en un vaso que contiene un líquido, un tubo de fondo móvil, este se sostiene por la presion de las moléculas líquidas que le oprimen de abajo arriba; pero llenando el tubo del mismo líquido, al llegar al mismo nivel, el fondo cae.

CAPÍTULO II.

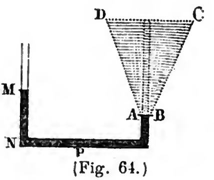
DE LA PRESION QUE HACE UN LÍQUIDO CONTRA LAS PAREDES DEL RECIPIENTE QUE LO CONTIENE.

226. *La direccion de la presion que hace un líquido en equilibrio contra un punto cualquiera del recipiente que lo contiene es normal á aquel mismo punto.* Pues si esta direccion no fuese normal, la fuerza de presion se podria descomponer en dos, una normal que quedaria destruida por la resistencia de la pared, y otra paralela á la misma pared, segun la cual la molécula contigua se moveria, no quedando destruida, contra la suposicion hecha que el líquido esté en equilibrio. Luego la direccion de la presion no puede ser oblícua. Así se ve que haciendo salir un líquido por un orificio, la direccion que toma es siempre normal á la pared de donde sale.

227. *La presion que sufre el fondo de un vaso por el líquido que tiene encima, es igual al peso de un prisma líquido, cuya base sea el mismo fon-*

do, y cuya altura su distancia al plano de nivel; porque sufriendo cada molécula la presion del hilo líquido que tiene encima, deberá trasmitir esta presion á la molécula del recipiente, con quien se halla en contacto; y por tanto la presion total sobre el fondo será el resultado del peso de todos estos hilos, ó sea, la suma de todos los puntos del fondo multiplicada por la comun distancia al plano de nivel. Por lo que representando por *b* esta base, por *a* la distancia al nivel, por *d* la densidad, ó peso específico del líquido y por P la presion, $P=abd$.

228. De esta ecuacion se deduce, que un líquido contenido en un vaso de pequeña capacidad, hará la misma presion sobre el fondo que si estuviese en uno de mayor capacidad, pero de igual fondo y altura; lo que se comprueba con el esperimento llamado *paradoja hidrostática*. Unanse sucesivamente tres vasos de diferente capacidad al fondo comun AB (fig. 64), formado por un tubo P dos veces encorvado lleno de mercurio; echando agua ú otro líquido hasta la altura DC, la superficie móvil del mercurio cede por la presion del agua, y el mercurio sube por el brazo MN siempre hasta una misma altura: luego el agua aunque diferente en cantidad hace igual presion sobre el fondo móvil del mercurio. Este aparato se conoce con el nombre de aparato de Haldad. Tambien se suele emplear el aparato de Pascal, en el cual el fondo móvil de los diferentes vasos se sostiene con una balanza, y el contrapeso igual, para igual altura de líquido, manifiesta la igual presion sobre el fondo. Así pues con poquísima agua se puede ejercer una presion enorme, dando al vaso que la contiene una base muy ancha, y una grande pero estrechísima altura.



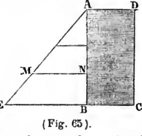
(Fig. 64.)

229. En cuanto á la presion del líquido contra una pared cualquiera, considérese la superficie superior del mismo líquido, como un plano, al cual se refieran los momentos, y la presion hecha sobre cada punto de la pared, como el momento de una fuerza, que estará representado por la presion de la molécula que está en contacto del punto oprimido, multiplicada por su distancia al plano de nivel; y como la presion de cada molécula es normal á la superficie oprimida, todas estas presiones serán paralelas, por lo que la suma de los momentos de estas fuerzas referidos á un plano colocado fuera de su direccion, será igual á la suma de las fuerzas multiplicada por la distancia de su centro de gravedad á dicho plano, (96) ó sea, *la presion total será igual á la superficie oprimida multiplicada por la distancia de su centro de gravedad al plano de nivel*. Siendo pues *a* esta distancia, *b* la pared oprimida y *d* la densidad del líquido, se tendrá la presion $p=abd$.

230. De aquí se sigue, que en un vaso de figura cúbica cada pared

vertical sufrirá la mitad de la presion que sufre el fondo, porque el centro de gravedad de un cuadrado, se halla en su punto medio. Por la misma razon en un vaso prismático la presion lateral será igual á la pared oprimida por la mitad de la altura del líquido sobre el fondo horizontal. Así por ej. una pared vertical de 10 piés de lado horizontal y de 12 piés de altura sufrirá una presion por el agua de 50400 libras, sabiéndose que un pié cúbico de agua pesa 70 libras.

231. Pero no debe confundirse el centro de la superficie oprimida, con el *centro de presion*, que es aquel punto á que puede suponerse aplicada la presion total. En efecto sea ABCD (fig. 65), una pared vertical de un vaso lleno de líquido; como la presion que este ejerce aumenta con la profundidad, la podrémos representar por líneas horizontales que crezcan como los números 1, 2, 3, 4..... formándose así un triángulo, que representará esta presion con relacion á la profundidad: ahora el centro de un triángulo se halla en la línea MN colocada á un tercio de la base (94) EB, luego el centro de presion de una pared vertical, se hallará á un tercio de la profundidad del líquido á contar desde el fondo. Así pues el centro de presion se halla debajo del centro de la figura.



(Fig. 65).

232. En un tubo vertical lleno de un líquido, cada anillo horizontal sufre una presion, como si perteneciese al fondo de un vaso con relacion al líquido que le está encima, por lo que llamando r al radio del tubo, a su distancia al nivel, y d la densidad del líquido, se tendrá $P = 2\pi r.a.d$; pero para que este anillo sostenga el esfuerzo del líquido, es necesario que la resistencia que opone, sea igual á la presion, y como esta resistencia depende del grueso de la pared del tubo, y de la tenacidad de sus partes, llamando v al grueso, y t la tenacidad, se tendrá $vt = P = 2\pi r.a.d$, de donde $v = \frac{2\pi r.a.d.}{t}$; para otro tubo será $v' = \frac{2\pi r'.a'.d'}{t'}$, y comparando las dos ecuaciones, y despejando v' se tendrá $v' = \frac{v.r'a'd't}{r.a.d.t'}$. Por la experiencia consta, que un tubo de plomo de seis líneas de grueso y de seis pulgadas de radio sostuvo el agua hasta la altura de 60 piés, luego el grueso de otro tubo de plomo que debe sostener el agua á 100 piés de altura, y que tiene un radio de tres pulgadas será $v' = \frac{v.r'.a'}{r.a} = \frac{6\text{li.} \times 3 \times 100}{6 \times 60} = 5$ líneas. Pero si el tubo tuviese que ser de hierro de dos pulgadas de radio, para sostener el mercurio á 30 piés de altura, siendo el hierro 42 veces mas

tenaz que el plomo, y el mercurio 14 veces mas denso que el agua, se tendria $v'=\frac{6li.\times2\times30\times14}{6\times60\times42}=\frac{1}{3}$ línea. Por lo que se ve que es inútil, que los tubos tengan el mismo grueso en toda su longitud.

CAPÍTULO III.

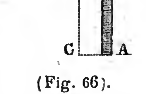
DEL EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS EN LOS VASOS COMUNICANTES.

233. Se llaman *vasos comunicantes* aquellos en que los líquidos pueden libremente pasar del uno al otro.

234. *Hallándose un mismo líquido en vasos comunicantes, la altura de las superficies sobre el comun fondo es igual, si las presiones ejercidas sobre estas superficies son iguales; pero si son desiguales, el líquido se levanta mas por la parte que sufre menor presion.* Pues representando por a la altura del líquido en un brazo, y por $a+a'$ la altura en el otro sobre el comun fondo b, y por C y C′ las respectivas presiones sobre las superficies, la presion que sufrirá el fondo por una parte será $a.b+C$ y por la otra $b(a+a')+C'$, por lo que en caso de equilibrio será $b.a+C=b(a+a')+C'$, de donde $a'=\frac{C-C'}{b}$; luego si $C=C'$ será $a'=o$; y si $C>C'$, será $a+a'>a$.

235. De aquí se saca la explicacion de varios fenómenos, como son 1.° el elevarse el agua, que se trasporta por medio de un conducto, á la altura de su orígen; como tambien en los *pozos artesianos*, que consisten en unos grandes agujeros practicados en el suelo hasta horadar una capa impermeable, debajo la cual se halla el agua filtrada por los terrenos, y en comunicacion con depósitos mas ó menos elevados sobre el suelo, que se ha barrenado, resultando de aquí, que tal vez salga el agua en forma de surtidor. 2.° el elevarse el agua con el *sifon* ó con las *bombas aspirantes*, ó el desnivelarse un líquido en los *manómetros*.

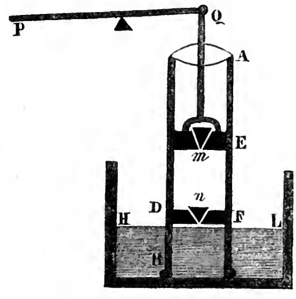
236. Se llama *sifon* un tubo encorvado de brazos desiguales. Puesto el sifon ABD (fig. 66), en el agua por el brazo menor BD, supóngase que esta, despues de haber llenado el tubo, salga por la extremidad A, la presion que el líquido sufrirá en el punto mas alto B por la parte exterior del brazo largo, será la atmósfera, que acciona en el mismo extremo, menos el peso del agua en este brazo; por la parte del brazo sumergido, será la misma atmósfera, que acciona sobre la superficie del líquido, y que se trasmite dentro del tubo, menos el peso del agua del mismo brazo, sobre la superficie ó nivel MN; pero esta última



(Fig. 66).

presion es mayor que la precedente de la cantidad MC, luego el agua en el punto B debe ceder por la parte del brazo exterior mas largo.

237. Las bombas aspirantes no son otra cosa que un tubo derecho AB (fig. 67) introducido por su parte inferior, en un depósito de agua: en el tubo hay un émbolo E que por su propio peso, ó empujado va hácia abajo, y comprime el aire contenido entre el mismo émbolo y un plano fijo DF agujereado y tapado con una válvula n, el aire así comprimido sale abriendo la válvula m colocada en el mismo émbolo; entónces por medio de la palanca PQ levantando el émbolo, queda cerrada la válvula m, y el agua no sufriendo la presion del aire dentro del tubo, se levanta sobre el nivel exterior HL.



(Fig. 67.)

238. El *manómetro* es un tubo encorvado lleno de mercurio hasta un cierto punto; á una determinada temperatura se cierra herméticamente uno de los estremos del tubo, y así cuando el aire esterior es mas denso, el mercurio en el brazo cerrado se levanta mas que en el abierto, al revés cuando el aire esterior es menos denso y por consiguiente ejerce menor presion, el mercurio se eleva mas en el brazo abierto, midiéndose así la mayor ó menor densidad del aire.

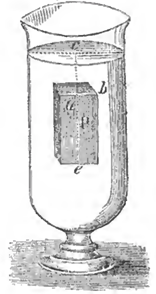
239. Introduciendo en los diferentes brazos de los tubos comunicantes, líquidos diferentes, *sus alturas están en razon inversa de sus densidades*, *ó peso específico*. Porque sea d la densidad del líquido cuya altura es a en un brazo, y d' la densidad de otro líquido que tiene la altura $a+a'$ en el otro brazo, estando estos líquidos en equilibrio, y sufriendo iguales presiones en su superficie, se tendrá $b.a.d= b\,(a+a')\,d'$, de donde $d : d' :: a+a' : a$.

240. Esta propiedad de los líquidos nos suministra un modo de determinar su peso específico, y el de los flúidos que se equilibran con ellos. Así se observa, que poniendo agua en uno de los dos brazos de un tubo comunicante y mercurio en el otro, aquella se levanta á una altura 13,6 veces mayor que este, luego la densidad del agua es 13,6 veces menor que la del mercurio. Pero este equilibrado con el aire, queda suspendido á una altura de 76 centímetros próximamente en el nivel del mar; luego el agua siendo 13,6 mas ligera que el mercurio, equilibrada con el aire se sostendrá hasta una altura de 76 centímetros multiplicada por 13,6 cuyo producto es igual á 10,336 metros próximamente, y así hasta esta altura se podrá elevar el agua con el sifon y en las bombas aspirantes.

CAPÍTULO IV.

DEL EQUILIBRIO DE LOS SÓLIDOS SUMERGIDOS EN LOS LÍQUIDOS.

241. *Un sólido sumergido en un líquido pierde una parte del propio peso equivalente al peso de un igual volúmen de líquido.* Represéntese por b una de las caras de un paralelepípedo P (fig. 68), sumergido en un líquido en una posicion horizontal: la cara superior sufrirá una presion igual al peso del prisma líquido, que está encima, ó sea, $b.ac.d$, siendo d la densidad del líquido; pero la presion que sufrirá la cara inferior hácia arriba será $b.ec\,d$; luego la presion resultante será $b.ec.d - b.ac\,d = b.ae.d$; las presiones en las caras laterales, siendo iguales y contrarias, mutuamente se destruirán. Ahora $b.ae.d$ representa un volúmen de líquido igual al del sólido, luego el empuje, que sufre el sólido hácia arriba ó sea lo que el sólido pierde de peso, es igual al peso de igual volúmen de líquido.



(Fig. 68.)

242. Este resultado puede confirmarse tambien por la experiencia, á cuyo efecto equilíbrese en un plato de una balanza, un cilindro hueco, debajo del cual se suspende otro macizo, que perfectamente ajuste en la capacidad del hueco; sumergido entonces el inferior, se rompe el equilibrio, pero se restablece, llenando el hueco del cilindro superior con el mismo líquido. Esta verdad fundamental tiene lugar en cualquiera fluido pesado, por que la razon de la pérdida de peso, que sufre el sólido sumergido, nace de la presion mayor que sufre el cuerpo en la parte inferior.

243. Si el sólido sumergido tuviese la misma densidad ó peso específico que el líquido, quedaria suspendido en cualquiera punto de la masa líquida; pero si tiene mayor peso específico, bajará al fondo con la diferencia de este peso; y si lo tiene menor, subirá con la diferencia de presion, empujado hácia arriba, hasta que quede solamente sumergida aquella parte, bajo cuyo volúmen el peso del líquido desalojado, es igual al peso de todo el sólido. Por esta razon se experimenta mayor dificultad en sostener un cuerpo fuera del agua, que dentro de ella, porque en este caso se sostiene solamente una parte de su peso, y en el otro se debe sostener todo.

244. Representando por G, g los pesos específicos de un sólido y de un líquido, y por V el volúmen del sólido, el peso de este será G.V, y el de igual volúmen de líquido g.V (52), por lo que el exceso Q de peso, con que el sólido sumergido bajará, será $Q = G.V - g.V$, de

donde $g.V = G.V - Q$; fórmula que expresa la pérdida de peso que sufre el sólido sumergido. Para otro volúmen sumergido en el mismo líquido se tendrá $g.V' = G'.V' - Q'$ de donde $V : V' :: G.V - Q : G'.V' - Q'$, esto es, *las pérdidas de peso que sufren dos cuerpos sumergidos en un mismo líquido son proporcionales á sus volúmenes:* lo que tambien puede confirmarse con la balanza, suspendiendo sucesivamente de uno de sus brazos volúmenes conocidos de diferentes sustancias; pero de igual peso.

245. Si en la proporcion precedente se supone $G.V - Q = G'.V' - Q'$, tambien será $V = V'$, y al revés; lo que expresa, que *si dos cuerpos sumergidos sufren igual pérdida de peso, sus volúmenes son iguales; y si estos son iguales los cuerpos sufrirán igual pérdida de peso.* Con este principio resolvió Arquímides el famoso problema de la *corona*, que consistia en reconocer, si toda ella era de oro puro, sin gastarla, lo que tenia que suceder, si sumergida perdia tanto peso, cuanto un trozo de oro puro de igual peso, porque los volúmenes de los cuerpos homogéneos son proporcionales á sus pesos (52).

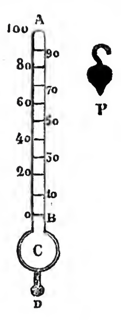
246. Multiplicando por G la fórmula superior $g.V = GV - Q$, se tendrá $G.g.V = G\,(G.V - Q)$, de donde $G.V : G.V - Q :: G : g$, que expresa, que *el peso absoluto de un sólido es á la pérdida de peso que sufre sumergido en un líquido, como el peso específico del sólido es al del líquido.* En cuyo enunciado se funda el uso del *Areomètro de Nicholson* expuesto en el número 58 para determinar el peso específico de los sólidos con relacion al del agua.

247. Sumergiendo un mismo sólido en dos líquidos diferentes, sufrirá una diferente pérdida de peso expresada por las fórmulas $g.V = G.V - Q$, y $g'.V = G.V - Q'$, cuya comparacion nos da $g : g' :: G.V - Q : G.V - Q'$, esto es, *los pesos específicos de los líquidos son proporcionales á las pérdidas de peso que sufre un sólido sumergido en ellos.* Este resultado podrá obtenerse, equilibrando en el brazo de una balanza un sólido, y sumergiéndolo luego en diferentes líquidos, pues los contrapesos necesarios para restablecer el equilibrio en cada líquido darán la relacion de los pesos específicos de los mismos líquidos.

248. Flotando un cuerpo en un líquido, represente V el volúmen total del sólido, y v el volúmen de la parte sumergida, que será igual al volúmen del líquido desalojado; en caso de equilibrio se tendrá $G.V = g.v$ (243), de donde $v : V :: G : g$, que expresa que *el volúmen de la parte sumergida es al volúmen total, como el peso específico del flotante es al del líquido.* Por lo que cuanto menor será el peso específico de un flotante, tanto menos se sumergirá.

249. Puesto un mismo flotante sucesivamente en diferentes líquidos se tendrán las ecuaciones, $G.V = g.v$, $G.V = g'.v'$, y así $g.v = g'.v'$, de donde $g : g' :: v' : v$, esto es, *los pesos específicos de dos líquidos están en razon inversa de las partes sumergidas de un mismo flotante.* En este principio está fundado el uso de los *areómetros*.

250. Estos instrumentos consisten en un cilindro hueco de vidrio ó de metal AB (fig. 69), terminado inferiormente por dos globitos C y D el primero mayor y vacío para que el instrumento pueda flotar aun en líquidos muy ligeros, el otro menor y lleno de mercurio, para que pueda sumergirse aun en líquidos muy densos, y se mantenga en una posicion vertical. Para graduar el instrumento se escoge el agua destilada á 4° grados de temperatura, en que tiene su mayor densidad, y otro líquido cuya densidad sea $\frac{5}{4}$ de la del agua, y así segun la proporcion precedente se tendrá v (volúmen sumergido en el agua) : v' (volúmen sumergido en el otro líquido) : : $g'(=5)$: $g(=4)$: : 100 : 80; por tanto se señala 100 donde enrasa en el agua y 80 donde enrasa en el otro líquido, y se divide el espacio intermedio en veinte partes iguales, cuya division se continua adelante. Así por ej. en el ácido nítrico fumante el instrumento enrasa á 69, luego su peso específico será $x=\frac{100}{69}=1,45$; y en general se obtendrá el peso específico de un líquido cualquiera, dividiendo 100 por el número que corresponde al punto en que enrasa el instrumento. Este areómetro se conoce con el nombre de *densímetro* ó *volúmetro* de Gay-Lussac, porque este físico le dió la referida graduacion centesimal.



(Fig. 69).

251. El areómetro llamado *universal*, es el mismo areómetro centesimal ya descrito, con dos escalas invertidas, de modo que cuando debe servir para líquidos mas pesados que el agua, se le añade en su parte inferior el lastre P que lo hace sumergir en el agua pura hasta el punto A, donde está el número 100 de una escala, graduándose luego el instrumento como queda esplicado; y cuando debe servir para líquidos mas ligeros que el agua, se quita el lastre, con lo que el instrumento se sumerge en el agua solamente hasta B, donde se nota 100 en la otra escala y para determinar los grados siguientes, se mete el areómetro en una mezcla de agua y alcohol, cuya densidad sea 0,8 de la del agua, por lo que siendo $\frac{1}{0,8}=1,25$, la parte de tubo sumergida deberá dividirse en 25 partes iguales, continuándose luego la division hácia arriba.

252. Hay algunos areómetros llamados *pesa-sales*, *pesa-jarabes*, *pesa-licores*, *pesa-ácidos*, etc., destinados únicamente á conocer si las soluciones son mas ó menos concentradas. A este fin la escala está dividida en 100 partes correspondiendo el cero al punto, donde enrasa el instrumento en el agua pura, y notando 5, 10, 15,... en los puntos donde enrasa en una solucion de estas cantidades en peso de una substancia disuelta en 95, 90, 85,... de agua pura. Para el alcohol se

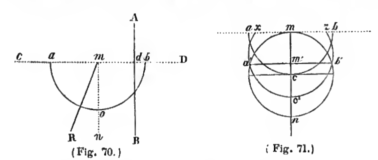
mezclan estas cantidades en volúmen. Pero todos estos instrumentos tienen el inconveniente, que cada uno no puede servir, sino para la substancia en que se graduó.

CAPÍTULO V.

DE LOS FENÓMENOS DE LA CAPILARIDAD.

253. Llámase *capilaridad* aquella fuerza por la cual los líquidos que se introducen en el interior de los tubos muy estrechos, ó en los poros é intersticios de los cuerpos, se elevan sobre el nivel esterior, ó se deprimen debajo de él: y como el líquido se eleva siempre que moja al sólido, y se deprime cuando no lo moja, estos fenómenos deben atribuirse á la atraccion mútua de las moléculas del líquido entre sí, y á la de estas con las del sólido con quien está en contacto.

254. Para comprender esta accion, supongamos una pared vertical AB (fig. 70), sumergida en parte en un líquido, cuya superficie horizontal sea CD. La atraccion que la pared AB ejerce sobre una molécula *m*, colocada á una distancia sumamente pequeña, siendo igual hácia arriba y hácia abajo, tendrá una resultante *md* normal á la misma pared; pero la molécula *m* sufre tambien la atraccion de todas las demás moléculas comprendidas dentro la esfera de atraccion, que puede representarse por el hemisferio *aob*, cuya resultante si no hubiese la pared, tendria la direccion *mn* normal á la superficie plana del líquido, pero faltando la porcion interceptada por la pared, esta resultante deberá tomar necesariamente una direccion hácia la parte opuesta, por ej. *m*R; por lo que si la resultante de las dos fuerzas *md* y *m*R es vertical, el líquido quedará horizontal; pero si dicha resultante está dirigida en el ángulo *dmn*, la superficie en el punto *m* será cóncava, puesto que siempre debe ser normal á esta resultante; al revés, si se dirige en el ángulo R*mn*, entónces la superficie será convexa por la



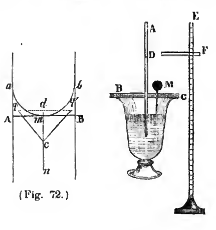
(Fig. 70.) (Fig. 71.)

misma razon. Así pues, *el líquido se dispone en superficie cóncava en contacto de un sólido que moja, y en superficie convexa junto al sólido que no moja.* El grado de concavidad ó convexidad depende del peso de la molécula líquida, de la direccion de la resultante de las fuerzas moleculares, y de su intensidad.

255. Sea *mn* (fig. 71) un hilo vertical de moléculas de un líquido terminado en superficie plana: desde el punto *m* como centro describase la esfera *acb*, que represente

la esfera de atraccion molecular; la molécula m tirada por todo el líquido del smisferio *acb*, tenderá á sumergirse en el interior de la masa, otra molécula m' tambien tenderá á sumergirse, pero con menor fuerza, á saber con la diferencia de atraccion del hemisferio $a'\,c'\,b'$ y de la del segmente $a'xzb'$, y así dígase de todas las demás moléculas del hilo mn hasta la molécula c, la cual será tirada igualmente hácia arriba que hácia abajo, y lo mismo será de todas las demás moléculas inferiores; por lo que la fuerza con que cada molécula del hilo mc tiende á sumergirse, es diferente, máxima para m y cero para c; todas estas fuerzas producirán una presion sobre las moléculas inferiores, que irá creciendo desde el punto m, en que es mínima, hasta el punto c en que es máxima, la cual representarémos por P.

256. Suponiendo ahora una superficie cóncava *amb* (fig. 72), sea AB el plano tangente del punto inferior m de dicha superficie: las moléculas comprendidas en el menisco $aAmBb$ tienden á levantar el hilo mn, porque descomponiendo la fuerza representada por qc que egerce una molécula q del menisco sobre la molécula c del hilo mn, la fuerza horizontal qd quedará destruida por otra igual fuerza proveniente de la molécula q' colocada simétricamente en la otra parte del menisco; pero la vertical dc producirá todo su efecto: llamando pues P' á la accion total del menisco, la fuerza de presion con que tenderá á sumergirse el hilo mn, será P—P'. En caso que la superficie fuese convexa, entónces la presion P' seria de signo contrario, pues á la superficie plana no solo no se le sobrepone el líquido cuyo efecto es—P', sino que aun le falta, y así llamando x á la presion de la superficie convexa se tendrá x=P+P'.



(Fig. 72.)

(Fig. 73.)

257. Por tanto sumergiendo un tubo en un líquido que lo moja, este se dispondrá en superficie cóncava, pero la presion ejercida por una superficie cóncava es menor que la que ejerce la plana, luego para que el líquido contenido en el tubo quede en equilibrio con el líquido esterior, deberá tener una mayor elevacion (234). Si el tubo no es mojado, el líquido toma una superficie convexa; pero esta oprime mas que la plana, luego el líquido dentro del tubo deberá tener una menor elevacion que fuera del mismo tubo. Así pues, ***los líquidos en el interior de los tubos capilares que mojan, se elevan sobre su nivel esterior, y se deprimen debajo del mismo nivel, si no los mojan.***

258. *La elevacion ó depresion del líquido en los tubos capilares está en razon inversa de sus diámetros.* Para demostrar esta ley por la experiencia fíjese verticalmente un tubo A bien limpio (fig. 73) en una tablita BC de madera, colocada sobre los bordes de un vaso de cristal, que contiene el líquido, el cual se aspira por la extremidad superior del tubo, y queda suspendido hasta un cierto punto D: á este punto se dirige la visual del anteojo F de un cathetómetro vertical E; luego á través de la tablita se pasa un tornillo puntiagudo M hasta tocar con la punta al nivel, y sacando con un sifon una porcion

de líquido, se baja el anteojo para dirigir la visual á la punta del tornillo: las divisiones que habrá corrido el anteojo, darán la altura del líquido en el tubo. Para conocer su diámetro, se introducirá en el tubo un poco de mercurio, que ocupe una longitud l determinada, y dividiendo el peso de esta cantidad de mercurio por su densidad, se obtiene su volúmen $v=\pi r^2 l$, que dará á conocer el radio r del tubo. Así se ha hallado que el agua á 8°,5 de un tubo de 1,2944, milím. de diámetro, se eleva hasta 23,1634 milím.; y á solo 15,5861 milím. en un tubo de 1,9038 milím., en cuyos números se observa verificada la ley anterior.

259. Esta ley supone tubos de corto diámetro, no verificándose con exactitud, cuando este pasa de 2 milímetros, y como en el barómetro y en otros aparatos de física conviene conocer el valor de la depresion del mercurio, la tabla siguiente la da á conocer en tubos de dos á diez milímetros de diámetro.

DIAM.	DEPRESION.	DIAM.	DEPRESION.
2,0	4,579	6,0	1,136
2,5	3,593	6,5	0,995
3,0	2,902	7,0	0,877
3,5	2,414	7,5	0,775
4,0	2,053	8,0	0,684
4,5	1,752	8,5	0,604
5,0	1,507	9,0	0,534
5,5	1,306	9,5	0,473
		10,0	0,419

260. La elevacion del líquido es independiente del espesor del tubo y de la materia que lo compone, con tal que pueda ser mojada, pero depende de la naturaleza del líquido, y de su temperatura, la cual aumentando, suele disminuir dicha elevacion. La tabla siguiente indica la elevacion de diferentes líquidos á cero grados de temperatura en tubos de un milímetro de diámetro.

SUSTANCIAS.	DENSIDAD.	ELEVACION EN MILÍMETROS.
Agua..	1,000	30,73
Acido acético.	1,290	17,02
Acido sulfúrico. . . .	1,840	16,80
Solucion de potasa. . .	1,274	15,40
Esencia de trementina .	0,890	13,52
Alcohol.	0,821	12,10
Eter.	0,737	10,80
Sulfuro de carbono. . .	1,290	10,20

261. Si en vez de un tubo se sumergen verticalmente dos láminas paralelas muy cercanas, el líquido tambien se eleva entre ellas, pero solo á la mitad de la altura de lo que haria en un tubo de un diámetro igual á su distancia. Por lo que tambien entre las láminas muy cercanas la elevacion del liquido está en razon inversa de su distancia.

262. Cuando las láminas forman un ángulo diedro vertical muy estrecho, el líquido se eleva por la parte mas estrecha, formando una curva hiperbólica equilátera, cuyos asyntotas son por una parte la interseccion de las láminas, y por la otra el nivel horizontal del líquido.

263. Muchos fenómenos pueden explicarse con la teoría expuesta. 1.° Sacando con cuidado el tubo capilar sumergido, la columna líquida suspendida se eleva á mayor altura, por efecto de una gotita con que termina la parte inferior del tubo, que forma un menisco convexo, que por su mayor presion empuja al líquido hácia arriba. 2.° Poniendo una gota de líquido entre dos láminas casi horizontales, algo inclinadas entre sí, si son mojadas, el líquido se dirige hácia la parte mas estrecha, y si no lo son, va hácia la parte mas abierta; porque en el primer caso siendo mas cóncava la superficie que está de la parte mas estrecha, oprime menos que la opuesta: en el segundo caso sucede lo contrario, en la parte mas estrecha la superficie siendo mas convexa, produce mas presion. 3.° En un tubo cónico por ej. el cuello de una botella, si queda un arito de líquido, este se dirije hácia la parte superior mas estrecha, porque por esta parte la superficie es mas cóncava. 4.° Poniendo un líquido en un brazo comunicante de brazos estrechos de diferente diámetro, si el líquido termina en meniscos convexos, se eleva menos en el mas estrecho; lo contrario sucede, si termina en meniscos cóncavos. 5.° Si sobre un líquido

se ponen dos bolitas flotantes muy cercanas, mojándose ambas, ó no mojándose, la una se precipita sobre la otra; porque si se mojan, se forma entre ellas una superficie cóncava, que oprime menos al líquido que por la parte esterior, y si no se mojan, el líquido se deprime entre ellas, y así se hallan como en un plano inclinado. Si la una se moja y la otra no, entonces mutuamente se rechazan. 6.º Dos láminas verticales presentan el mismo fenómeno, que se unen por la parte no sumergida, si ambas se mojan ó no se mojan, y se separan si una se moja y la otra no. 7.º Finalmente efecto de la capilaridad es la elevacion de los líquidos por los intersticios de los cuerpos, cuando se mojan por su parte mas baja: así vemos que el aceite sube por las mechas en las lámparas. Una esponja, un lienzo, un trozo de azúcar, un monton de ceniza, etc., llegan á mojarse enteramente, si tocan con uno de sus estremos el agua, ú otro licor que los moje.

264. Con los fenómenos precedentes tienen una cierta analogía los que se llaman del *endosmosis*. Dícense endosmosis y exosmosis las corrientes en direccion contraria, que se establecen entre dos líquidos de diferente naturaleza, separados por un vaso poroso, orgánico ó inorgánico; la corriente hácia adentro se llama *endosmosis*, y la que va hácia afuera *exosmosis*, y se observan con un aparato llamado *endosmómetro*, que consiste en un tubo cónico tapado por su abertura mas ancha con una membrana, y terminado por su parte estrecha por un tubo cilíndrico graduado, de vidrio. Lleno el cono de solucion de azúcar, ó de leche, ó de albumina y colocado dentro de un vaso de agua, el líquido interior se ve subir poco á poco por el tubo hasta la altura de muchos decímetros. Si el licor está fuera y el agua dentro del aparato, esta baja de nivel. Al mismo tiempo se reconoce haber pasado tambien algo de licor á la parte opuesta.

265. La altura á que suben los líquidos, depende de su naturaleza. La solucion de azúcar entre las substancias vejetales, y la albumina entre las animales son las que mas se elevan. Ordinariamente la corriente mayor se dirige hácia el líquido mas denso; pero hacen escepcion el alcohol y el eter con relacion al agua.

266. Para que tengan lugar estos fenómenos se requiere que los líquidos sean de diferente densidad y naturaleza, y además susceptibles de mezclarse. Por lo que parece que su principal causa es la afinidad química, de que se hablará en el libro sexto, y que la capilaridad del cuerpo poroso no es sino el medio de realizarse dicha union. Además los efectos capilares decrecen con el aumento de temperatura (260); pero los efectos del endosmosis crecen con el calor, sucediendo lo mismo en las acciones químicas.

267. Finalmente entre los gases de diferente naturaleza tambien se observan los fenómenos del endosmosis: así encerrando ácido carbónico en una vejiga, y colocándola dentro de un recipiente lleno

de oxígeno, despues de algun tiempo el oxígeno se halla mezclado con el ácido carbónico.

CAPÍTULO VI.

DE LA PRESION Y EQUILIBRIO DEL AIRE ATMOSFÉRICO.

268. El aire atmosférico, y en general todos los fluidos elásticos, ejercen sobre los cuerpos una presion proveniente de su elasticidad y de su peso, porque por razon de su elasticidad los gases deben contenerse en vasos cerrados, para que sus paredes se opongan á su ulterior expansion, sufriendo por este motivo en todos sentidos una presion igual á la fuerza repulsiva de las moléculas aéreas, la cual es tambien igual en toda la masa gaseosa á causa de su perfecta fluidez; pero como al mismo tiempo los gases están sujetos á la accion de la gravedad, las moléculas aéreas superiores ejercen una presion sobre las inferiores, y toda la atmósfera oprime con su peso la superficie de los cuerpos sobre que gravita, siendo esta presion enteramente análoga á la que ejercen los líquidos, esto es, proporcional á la densidad del gas, constante para una misma capa horizontal, é independiente de la forma de la masa gaseosa, equilibrándose esta presion en todos sus puntos con la fuerza expansiva de la misma masa.

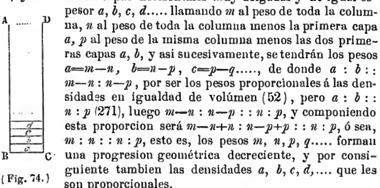
269. Llámase *barómetro* un aparato destinado á conocer la presion del aire atmosférico. Para construir este aparato llénese de mercurio bien limpio y purgado de aire con la ebullicion un tubo de cristal de unos 80 centímetros de largo, y luego revuélvase en un vaso lleno tambien de mercurio, el cual quedará suspendido dentro del tubo á una altura de unos 76 centímetros en el nivel del mar. Cuando el fondo del vaso puede elevarse ó bajarse por medio de un tornillo, para que la superficie del mercurio contenido en el vaso, se pueda poner en contacto de la punta de un índice fijo encima, el aparato toma el nombre de *barómetro de Fortin*, y si en vez del vaso, el tubo por debajo está encorvado á manera de sifon, se llama *barómetro de Gay-Lussac*.

270. Equilibrándose el peso ó presion de la atmósfera con el peso de una columna de mercurio de 76 centímetros de altura, el valor de esta presion sobre un cuerpo, será igual á la superficie oprimida, multiplicada por 76 centímetros. Ahora, un centímetro cúbico de mercurio pesa 13,6 mas que igual volúmen de agua (240), ó sea 13,6 gramos, luego una columna de 76 centímetros pesará 1033,6 gramos igual á 1,0336 quilógramos. Por lo que llamando b á la superficie oprimida expresada en centímetros cuadrados, la presion que sufrirá por el aire será $P = b \times 1{,}0336$ quilógramos. Por ej. el cuerpo humano te-

niendo una superficie de un metro y medio cuadrado próximamente sufrirá una presion de unos 15,000 quilógramos.

271. *La densidad de una masa de aire atmosférico es proporcional á la presion que sufre.* En efecto representando por d, d' las densidades, por v, v' los volúmenes, y por p, p' las presiones, se tiene en primer lugar que las densidades de los cuerpos son recíprocamente proporcionales á su volúmen, ó sea, $d : d' : : v' : v$ (52), pero en el aire los volúmenes están en razon inversa de las presiones, esto es, $v' : v : :$ P : P′ (31) luego $d : d' : :$ P : P′.

272. *La densidad del aire en estado de equilibrio de la atmósfera decrece de abajo arriba en progresion geométrica, suponiéndose constante la temperatura y la naturaleza química del aire.* Sea ABCD (fig. 74), una columna de aire desde el nivel del mar hasta los confines de la atmósfera, y divídase en capas horizontales muy delgadas y de igual espesor a, b, c, d..... llamando m al peso de toda la columna, n al peso de toda la columna menos la primera capa a, p al peso de la misma columna menos las dos primeras capas a, b, y asi sucesivamente, se tendrán los pesos $a = m - n$, $b = n - p$, $c = p - q$....., de donde $a : b : : m - n : n - p$, por ser los pesos proporcionales á las densidades en igualdad de volúmen (52), pero $a : b : : n : p$ (271), luego $m - n : n - p : : n : p$, y componiendo esta proporcion será $m - n + n : n - p + p : : n : p$, ó sea, $m : n : : n : p$, esto es, los pesos m, n, p, q..... forman una progresion geométrica decreciente, y por consiguiente tambien las densidades a, b, c, d,.... que les son proporcionales.



(Fig. 74.)

273. Decreciendo pues la densidad de la atmósfera en progresion geométrica, y no pudiéndose esta reducir jamás á cero, se seguiría que la altura de la atmósfera seria indefinida. Con todo se cree que sus límites se hallan en aquel punto, donde su fuerza expansiva se equilibra con la fuerza de la gravedad. Segun algunos físicos estos límites se hallen á la altura de unas 16 leguas geográficas.

274. Como la altura del mercurio en el barómetro se equilibra con la presion de la atmósfera, tambien la altura barométrica decrecerá en progresion geométrica, trasportando el barómetro á alturas, que siguen una progresion aritmética; y como un logaritmo no es otra cosa, que el número de una serie aritmética, dado por exponente al término correspondiente de una serie geométrica, se sigue que la distancia vertical de dos lugares, ó sea su diferencia de nivel será proporcional á la diferencia de los logaritmos de las alturas correspondientes del barómetro en aquellos mismos lugares. En este principio se funda el método de la medicion de alturas por medio del barómetro.

275. Para hallar la fórmula que nos dé esta diferencia de nivel, concíbase una columna vertical X de aire dividida en capas sumamente delgadas y de un espesor igual á x, las distancias sucesivas de las capas al nivel del mar, serán $x, 2x, 3x \ldots\ldots, nx = X$: las alturas correspondientes del barómetro represéntense por H, H', H'',....., h. cuya densidad á cero grados sea 1; y D la del aire. Pasando el barómetro de la primera capa de aire á la segunda, el peso de mercurio de que habrá disminuido la columna barométrica, será igual al peso de la primera capa de aire, y así se tendrá $H - H' = xD$, y como la densidad del aire es proporcional á la altura H que expresa la presion que sufre, será tambien $D = CH$, siendo C un coeficiente constante, cuando toda la columna de aire tiene la misma temperatura é idéntica composicion química: así pues será $H - H' = xCH$ de donde $H' = H(1 - Cx)$. Del mismo modo pasando el barómetro á la tercera capa, á la cuarta...... y en general á una capa cualquiera, ó sea á la altura X se tendrá $H'' = H'(1 - Cx) = H(1 - Cx)^2$, $H''' = H''(1 - Cx) = H(1 - Cx)^3 \ldots, h = H(1 - Cx)^n$; aplicando logaritmos á esta ecuacion, y despejando n, será $n = \frac{-1}{L(1 - Cx)}(LH - Lh)$; ahora (alg.) $L(1 - Cx) = -Cx - \frac{C^2x^2}{2} - \frac{C^3x^3}{3} - \ldots$, luego despreciando las potencias de x superiores á la primera, como cantidades sumamente pequeñas, se tendrá $n = \frac{1}{Cx}(LH - Lh)$, y siendo $nx = X$, ó sea, $n = \frac{X}{x}$ será $X = \frac{1}{C}(LH - Lh)$. Así para otra altura h' del barómetro correspondiente á una altura X' de la atmósfera, será $X' = \frac{1}{C}(LH - Lh')$; y haciendo $X' - X = z$, resulta $z = \frac{1}{C}(Lh - Lh')$, y en vez de C sustituido su valor $\frac{D}{H}$, se tendrá $z = \frac{H}{D}(Lh - Lh')$. Midiendo trigonométricamente ó de otra manera la diferencia z de nivel, y sustituyendo los valores observados h, h', se conocerá el valor de la cantidad constante $\frac{H}{D}$. Muchísimas observaciones han dado por este valor 18393 metros; y así será $z = 18393(Lh - Lh')$, que es la fórmula en su mayor sencillez, y para una latitud media, cual es la de 45°.

276. Como en los diferentes puntos de la atmósfera se esperimenta una variacion de temperatura, tanto el aire como el mercurio del barómetro sufrirán por esta causa una variacion en su densidad. Ahora, el aire se dilata 0,003665 del propio volúmen por cada grado de temperatura, y cerca de $\frac{1}{250}$, teniendo en consideracion la humedad que pueda contener, y como no se conoce exactamente la ley, segun la cual disminuye la temperatura en la atmósfera, se toma un término medio entre las temperaturas T y T', observadas en las dos estaciones, ó sea $\frac{T + T'}{2}$, y así se multiplicará el valor de la fórmula precedente por el factor $1 + \frac{T + T'}{2 \times 250} = 1 + \frac{2(T + T')}{1000}$. El mercurio se dilata $\frac{1}{5550}$ por cada grado de temperatura, (63) y así la altura h' deberá aumentarse de este valor por cada grado que baje el termómetro, pasando de la estacion inferior á la superior, y así será $h'\left(1 + \frac{T - T'}{5550}\right)$, ó bien $h'\left(1 + \frac{T - T'}{5412}\right)$ comprendiendo en este último valor la disminucion media de peso que sufre el mercurio, elevando el barómetro en la atmósfera. Finalmente la variacion de la latitud exige la introduccion del factor $1 + 0{,}002837 \cos. 2\gamma$, en que γ expresa la latitud. Por tanto la fórmula definitiva será $z = 18393\left(1 + \frac{2(T + T')}{1000}\right)\left(Lh - Lh'\left(1 + \frac{T - T'}{5412}\right)\right)(1 + 0{,}002837 \cos. 2\gamma.)$

277. A fin de abreviar los cálculos que con la fórmula precedente hay que hacer en la determinacion de alturas por medio del barómetro, se han construido tablas mas ó menos extensas, entre las cuales merecen citarse las de Oltmans, que se pueden ver en los anuarios, que publica la *Oficina de longitudes* de Paris, con cuyo medio se obtiene con gran facilidad y exactitud la diferencia de nivel de dos lugares distintos. Pero si no se quiere mucha precision podrá servir la tabla siguiente que da el factor, por el cual multiplicando la diferencia en milímetros de dos alturas barométricas, se obtiene aproximadamente en metros la diferencia de nivel de los dos lugares respectivos á que corresponden. Así por ej. altura barométrica en el nivel del mar. . . . . 760 metros.

Idem en Madrid. . . . . 702 »

Diferencia. . . . . 58 »

Factor. . . . . 11,3 »

Altura aproximada de Madrid sobre el nivel del mar. 655,4 metros.

Idem calculada por las tablas de Oltmans. . . . . 653 metros.

Diferencia. . . . . 2,4 »

ALT. BAR. MILIM.	FACTOR METROS.	ALT. BAR. MILIM.	FACTOR. METROS.	ALT. BAR. MILIM.	FACTOR. METROS.
760	10,5	670	11,8	580	13,7
750	10,6	660	12,0	570	14,0
740	10,8	650	12,2	560	14,2
730	10,9	640	12,4	550	14,4
720	11,0	630	12,6	540	14,7
710	11,2	620	12,8	530	15,0
700	11,3	610	13,0	520	15,3
690	11,4	600	13,3	510	15,6
680	11,6	590	13,5	500	16,0

CAPÍTULO VII.

DE LOS CUERPOS SUMERGIDOS EN EL AIRE.

278. Como los cuerpos sumergidos en los fluidos pierden una parte de su peso igual al peso del fluido que desalojan, resulta que pesándose los cuerpos en el aire por medio de contrapesos de un volúmen ordinariamente muy pequeño, no se obtiene su verdadero peso, pues las pérdidas de peso son proporcionales á los volúmenes sumergidos.

(244). Así equilibrada con una balanza muy sensible, una bola hueca con un contrapeso de plomo sobre el plato de la máquina neumática, al hacer el vacío se vé desequilibrarse, inclinándose la balanza hácia el cuerpo de mayor volúmen. Por lo que queriendo pesar un cuerpo con mucha exactitud, es necesario servirse de contrapesos de gravedad específica igual ó poco diferente.

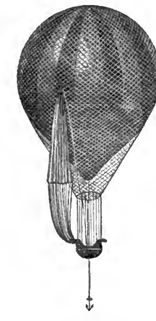
279. Por efecto de la misma ley hidrostática, un cuerpo sumergido en la atmósfera no puede pararse, sino cuando su volúmen ocupa un volúmen de aire de igual peso: de aquí la fuerza de ascension de los *globos aereostáticos*, que son unos globos de papel, ó tela, ó tafetan engomado, llenos de aire enrarecido por el calor, ó de gas hidrógeno, que es 14,5 veces mas ligero que el aire: con lo que siendo mucho mas ligeros dichos globos, que un igual volúmen de aire, este los empuja hácia arriba.

280. Para calcular la fuerza de ascension de un globo de dimensiones determinadas, se hace uso de la fórmula de geometría $V=\frac{4}{3}\pi R^3$ que da el volúmen de una esfera conocido su radio. Sea por ej. un globo de diez metros de diámetro lleno de hidrógeno, su volúmen será de 524 metros cúbicos: ahora un metro cúbico de aire pesa en el nivel del mar 1,3 quilógramos, luego 524 metros pesarán 681 kilógr.; por lo que este será el peso del aire desalojado, ó sea el empuje que el globo sufrirá hácia arriba en el momento de subir. El hidrógeno que llena el globo, siendo 14,5 mas ligero que el aire, pesará $\frac{681}{14,5}$, ó sea, unos 47 kilogr., á cuyo peso añadiendo él del papel, tela, ó tafetan, etc., de que esté hecho el globo y él de los accesorios evaluado todo en unos 150 kliogr.; tendrá el peso total de 197 kilogr., que restados de 681 quedarán 484 kilógramos para la fuerza de ascension.

281. Si el globo se soltase completamente henchido, la fuerza de ascension disminuiria á medida que se iria elevando, por disminuir la densidad de la atmósfera, llegando un punto, en que el peso del globo seria igual al del aire que desaloja, cesando entónces de subir; pero si el globo no está lleno, á medida que penetra en el aire mas enrarecido, se va hinchando en virtud de la fuerza expansiva del gas interior, y así se conserva constante la fuerza de ascension, pues cuanto menor es la densidad, y por consiguiente el peso del aire, tanto mayor es el volúmen desalojado. Ordinariamente no se llena el globo sino por mitad, pues para que pueda subir basta la fuerza de unos 4 ó 5 kilogr., y así se evita tambien que reviente por la demasiada hinchazon.

282. Por medio de la fórmula del barómetro $z=18393^m\,L\frac{h}{h'}$, se puede calcular la altura á que se levantará un globo. Sean P, P′ los pesos de un metro cúbico de aire en el nivel del mar y en la altura z, y h, h' las alturas barométricas correspondientes, se tendrá $\frac{P}{P'}=\frac{h}{h'}$, por lo que $z=18393\,L\frac{P}{P'}$. Sea p el peso del globo; en la altura z los dos pesos P', p serán proporcionales á sus volúmenes 1 y V, es decir $P' : p :: 1 : V$, de donde $P'=\frac{p}{V}$ luego $z=18393\,L\frac{PV}{p}$, así pues, sabiéndose que P, ó sea un metro cúbico de aire, pesa 1,3 kilogr., y conociéndose V y p esto es, el volúmen y peso de globo, se sabrá tambien la altura z á que se elevará, prescindiendo de la temper atural

283. La idea de la *aereostacion* es mas antigua de lo que comunmente se cree. El P. Lana jesuita italiano célebre físico, que murió en 1687 expuso con mucha precision la teoría de los globos aereostáticos en su *prodomo dell' arte maestra*, é imaginó una máquina con esferas huecas para producir la ascension. Desde entonces se han excogitado diferentes modos de formar los globos aereostáticos, que ofrezcan la suficiente seguridad al aereonauta. Actualmente se suele construir el globo con tela de seda barnizada con caoutchouc para hacerlo impermeable, aumentando su resistencia por medio de redes de cuerdas, de cuyos extremos pende una barquilla, donde se coloca el aereonauta como se ve en la (fig. 75). En la parte superior del globo hay una válvula, que puede abrirse de fuera adentro por medio de un cordon, y permitir así la salida del gas interior: la barquilla lleva una áncora para aferrar el globo en un lugar conveniente. Finalmente acompaña al globo una gran tela circular de unos 5 metros de diámetro, que puede desplegarse en forma de paraguas, ofreciendo al aereonauta el medio de disminuir la velocidad de su caida, en caso que se viese precisado á abandonar su globo.



(Fig. 75.)

CAPÍTULO VIII.

FENÓMENOS QUE SE OBSERVAN EN LOS LÍQUIDOS AL SALIR DE UN VASO POR UN PEQUEÑO ORIFICIO.

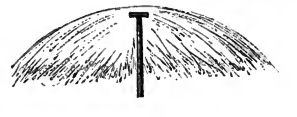
284. El movimiento de los líquidos en general está sujeto á las mismas leyes mecánicas que los sólidos; pero como las moléculas líquidas ceden á las mas ligeras impulsiones en todos sentidos, en el interior de la masa líquida se desarrollan movimientos, que hacen difícil y muy complicada su teoría.

285. Haciendo salir por un orificio practicado en el fondo de un vaso de cristal el agua en que se han diseminado polvos de igual peso específico, se observa que estos polvos arrastrados por el líquido ba-

jan con una velocidad sensiblemente igual y en direcciones entre si paralelas hasta una cierta distancia del orificio, como de unos tres radios poco mas ó menos; luego se encorvan dirigiéndose de todas partes hácia el orificio y formando la figura de un cono truncado. El mismo fenómeno tiene lugar, si el orificio está en una pared lateral del vaso. Cuando la superficie del líquido llega á la distancia, en que principia á formarse el cono, el líquido toma la forma de un embudo, porque las moléculas líquidas que salen, no pueden comunicar su propia velocidad á toda la masa que tienen encima. Así es que si se comunica al líquido un movimiento rotatorio, el embudo se forma ya desde el principio, porque las moléculas líquidas están animadas de una fuerza centrífuga tanto mayor, cuanto mas distan del centro, que se opone al restablecimiento de su nivel.

286. El chorro de agua que sale por un orificio, toma el nombre de *vena líquida,* la cual está compuesta de dos partes distintas: la primera inmediata al orificio, es contínua, quieta y trasparente, como un cristal: la segunda es interrumpida, agitada y turbia, y á distancias regulares presenta unas hinchazones, que se llaman *vientres,* cuyo diámetro máximo es mayor que el del orificio: estas hinchazones están separadas por unas contracciones, que se dicen *nodos.* La parte cristalina se contrae rápidamente al salir del orificio hasta una distancia poco mas ó menos igual á su diámetro, por efecto de la convergencia con que las moléculas líquidas tienden á salir del vaso. Las hinchazones de la parte turbia provienen de los movimientos vibratorios, que reciben las moléculas líquidas en el borde del orificio, pues disminuyendo cuanto es posible las causas que producen estas vibraciones, disminuyen tambien las hinchazones; y al revés, si con un instrumento músico se activan las vibraciones, los vientres y nodos se producen con mas regularidad, desapareciendo casi completamente la parte cristalina.

287. Cuando la vena liquida choca contra la superficie plana de un sólido, toma la forma de un mantel redondeado algo cónico (fig. 76), cuya parte central es muy delgada unida y trasparente; la zona esterior llamada *aureola* es turbia y surcada de líneas, unas circulares, y otras á manera de radios, que arrojan por todas partes pequeños chorros de líquido. Segun


(Fig. 76.)

que la vena líquida sufre mayor ó menor presion, el mantel es mas ó menos dilatado quedando abierto, ó cerrándose ó abriéndose en sentido opuesto. Todos estos fenómenos tienen lugar, cualquiera que sea la direccion de la vena líquida, con tal que el plano en que se recibe, sea normal á su direccion. Fenómenos análogos se obser-

van chocando dos venas líquidas opuestas. Para examinar estos fenómenos curiosos, se hace uso de un tubo de dos á cuatro metros de altura y de cinco á diez centímetros de diámetro colocado verticalmente; el extremo superior comunica con un depósito de nivel constante, y al otro extremo se adapta un fondo con un orificio de diez á doce milímetros de diámetro, recibiéndose la vena líquida sobre un disco metálico de unos 27 milímetros de diámetro colocado á dos ó tres centímetros de distancia del orificio. Una llave colocada en la parte superior del tubo, permite entrar el agua del depósito ó interrumpir su comunicacion.

CAPÍTULO IX.

DE LA VELOCIDAD Y DERRAME DE LOS LÍQUIDOS, QUE SALEN POR PEQUEÑOS ORIFICIOS.

288. La velocidad que tiene un líquido al salir por un pequeño orificio practicado en pared delgada, es igual á la que hubiera adquirido un grave al haber caido libremente desde la altura del nivel del líquido, sobre el mismo orificio.

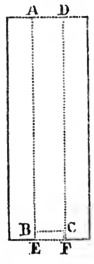


Fig. (77.)

Sea una columna líquida AEFD (fig. 77) sobre el orificio EF; la capa sumamente delgada BEFC, cayendo por su propio peso, en el punto E tendrá una velocidad $v=\sqrt{2g.BE}$ (153), pero como al mismo tiempo sufre el peso de toda la columna líquida que tiene encima, la fuerza aceleratriz libre representada por g estará á la fuerza aceleratriz en el caso presente, como el peso BEFC es al peso AEFD, los cuales pesos teniendo la misma base son proporcionales á sus alturas, y así será BE : AE :: $g : g.\frac{AE}{BE}$; el cual valor sustituido en la ecuacion precedente, se tendrá $v=\sqrt{2g.\frac{AE}{BE}.BE}=\sqrt{2g.AE}$, que expresa el enunciado. Esta velocidad se llama *velocidad teórica*.

289. Queriendo verificar experimentalmente la verdad del teorema demostrado, debido á Torricelli, hágase salir el líquido por un orificio B conocido, practicado en pared delgada, y mantengase el líquido en un nivel constante, cuya altura A sobre el orificio sea tambien conocida, observando el número de litros salidos en 8′ ó 10′, se deducirá el líquido derramado en un segundo, que llamarémos D. Este derrame es un volúmen de forma cilíndrica, que tiene una base igual al mismo orificio: por lo que llamando v' á la longitud de este cilindro.

se tendrá $B.v'=D$, de donde $v'=\frac{D}{B}$; pero v' representa la *velocidad efectiva* del líquido, ó sea el número de metros que las moléculas líquidas han corrido en un segundo, y por consiguiente se conocerá si la velocidad efectiva $v'=\frac{D}{B}$ es igual $v=\sqrt{2g.AE}$, cuyos valores se expresan con la misma unidad de medida por ej. el metro.

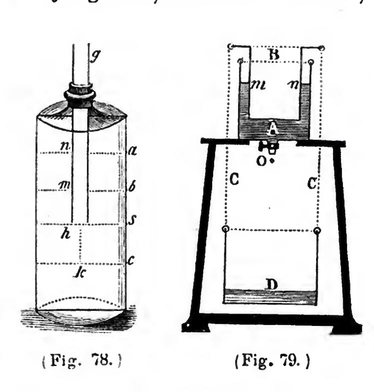
290. De este modo se reconoce, que la velocidad efectiva es solamente $\frac{2}{3}$ de la teórica, lo que proviene de la contraccion de la vena líquida (286), que á una distancia próximamente igual al diámetro del orificio tiene una seccion igual á $\frac{2}{3}$ del mismo orificio ó sea $0,64 \times B$, y así considerando esta seccion como si fuese el orificio, la velocidad efectiva será igual á la teórica.

291. Como la cantidad de líquido que sale de un orificio depende de la velocidad que tiene al salir, representando por D y D' los derrames, se tendrá $D : D' :: v : v' :: \sqrt{A} : \sqrt{A'}$. Además estos derrames serán mas ó menos considerables segun la magnitud del orificio, ó sea, estarán en razon de los orificios, por lo que si las alturas de nivel y los orificios son desiguales, los derrames estarán en razon compuesta de las alturas de nivel y de los orificios, ó sea $D : D' :: B.\sqrt{A} : B'.\sqrt{A'}$. Segun los experimentos de Bossut un orificio circular de una pulgada de diámetro bajo la altura de nivel de 4 piés, arroja en un minuto 5436 pulgadas cúbicas de agua; luego el agua que arrojará un orificio por ej. de dos pulgadas de diámetro bajo la presion ó altura de 9 piés en el mismo tiempo de un minuto, se tendrá por la proporcion $1\sqrt{4} : 4\sqrt{9} ::$ 5436 pulgadas cúbicas : $x=32616$ pulgadas cúbicas.

292. La contraccion de la vena líquida, modifica de un modo semejante los chorros, que salen por orificios de la misma naturaleza; pero si estos son de diferente naturaleza, el resultado es muy diferente. Así la cantidad de agua emitida por un orificio en pared delgada es 0,64 de la que corresponde á la amplitud del mismo orificio; pero si se adapta un tubo cilíndrico de dos ó tres diámetros de longitud, la cantidad emitida es 0,85; y si el tubo adicional tiene una forma cónica abierta hácia á fuera, la cantidad emitida tal vez llega á pasar el doble, de la que saldria en pared delgada. Luego si dos orificios están practicados, uno en pared delgada y otro con un tubo adicional, los derrames se tendrán por la proporcion $D : D' :: 0,64.B\sqrt{A} : 0,85.B'\sqrt{A'}$.

193. Para demostrar estas y otras propiedades experimentalmente, es necesario que el nivel del líquido se conserve en una misma altura, lo que se obtiene 1.º: haciendo entrar contínuamente en el depósito mayor cantidad de líquido de la que sale, derramándose lo sobrante por un tubo colocado en el borde del mismo depósito.

2.° Con un sifon cuyo brazo menor flota en el líquido por medio de un corcho. 3.° Con el vaso de Mariotte. El cuello de este vaso está atravesado con un tubo abierto por ambos extremos; en el vaso hay tres orificios iguales *a*, *b*, *c* (fig. 78): si estando el vaso lleno hasta *g*, se abre el orificio *b*, el líquido sale con la velocidad debida á la presion de la columna *gm*, por lo que el líquido no sale mas, cuando el nivel *g* llega á *m*; si se abre el orificio *a*, en vez de salir el líquido, entra el aire por él, hasta que el nivel sube desde *m* al punto *n*; pero abriendo el orificio *c* el líquido sale con velocidad constante debida á la presion de la columna constante *hk*, mientras el nivel no llegue al extremo *h* del tubo. En efecto la capa *hs* sufre por la parte del tubo la presion de la atmósfera y por dentro la presion del aire interior que llamo P, mas la de la columna líquida *nh*; luego A*tm*=P+*nh* ó sea, P=A*tm*—*nh*; esta presion es trasmitida á la capa *ck*, la cual sufre tambien la presion *nk*, luego la presion total sobre la capa *ck*, será A*tm*—*nh*+*nk*=A*t*+*hk*; ahora al salir el líquido por el orificio *c* debe vencer la fuerza, que le opone la atmósfera, luego la velocidad con que saldrá será A*tm*+*hk*—A*tm*=*hk*. 4.° Finalmente con el vaso de Prony (fig. 79). A es un vaso lleno hasta el nivel *mn*, dentro del cual flota otro vaso B, que por medio de las varillas C sostiene un tercer vaso D, donde se recoge el líquido que sale por un orificio cualquiera *o* del primer vaso A. A medida que se llena el vaso D, este pesa mas, y obliga al flotante B á sumergirse mas, y por consiguiente á elevar el nivel, que de otra manera se hubiera abajado.



(Fig. 78.) (Fig. 79.)

294. Se llaman *surtidores* los chorros que se elevan á través del aire verticalmente, ó con alguna inclinacion. Teniendo el líquido al salir por un orificio la velocidad que hubiera adquirido un grave, cayendo de la altura de nivel, deberia elevarse hasta esta misma altura, pero el roce en los bordes del orificio, la resistencia del aire, y sobre todo el peso de las moléculas líquidas, que caen sobre las que suben, son otras tantas causas que disminuyen considerablemente la elevacion del chorro.

295. La experiencia enseña, que dando una pequeña inclinacion

al surtidor, este se eleva á mayor altura. 2.º Que por orificios de mayor diámetro se obtienen surtidores mas elevados. 3.º Que la porcion de altura, que falta al surtidor para llegar al nivel del depósito, es próximamente proporcional al cuadrado de la altura del surtidor. 4.º Que un surtidor algo inclinado describe una parábola, cuyo parámetro es el cuádruplo de la altura del nivel del depósito sobre el centro del orificio, lo que puede verificarse, midiendo una abscisa vertical del chorro, y la correspondiente ordenada, porque el cuadrado de la ordenada dividido por la abscisa da el parámetro de la parábola. 5.º Que la mayor amplitud horizontal de la curva se obtiene, cuando el surtidor forma un ángulo de 45º sobre el horizonte. 6.º Que los orificios en pared delgada, dan surtidores de mayor altura, mas regulares y trasparentes, que los que tienen un tubo adicional.

296. Para determinar la altura de un surtidor conocida la del depósito, sean A, A' las alturas de dos depósitos, y a, a' las de los surtidores; segun se ha dicho, se tendrá $A-a : A'-a' :: a^2 : a'^2$. Ahora, bien, se ha hallado que un surtidor de 60 pulgadas de altura necesita un depósito de 61 pulgadas; luego haciendo $A'=61$, $a'=60$, será $\frac{a^2}{A-a}=(60)^2$, de donde $a=-1800+60\sqrt{A+900}$ pulgadas. Por lo que si $A=700$ pulgadas, será $a=-1800+60\times 40=600$ pulgadas.

297. Haciendo salir un líquido por un orificio pequeño de un vaso cilíndrico ó prismático sin añadir nuevo líquido, que mantenga el nivel primitivo, bajando este, disminuirá tambien la velocidad del líquido, puesto que es proporcional á la raiz cuadrada de la altura del nivel (291); pero la velocidad de un grave ascendente disminuye, como la raiz cuadrada del espacio corrido, ó sea de la altura (160), luego en un vaso prismático que se vacía, la velocidad del líquido disminuye en la misma razon, que la de un grave ascendente. Así pues un vaso cilíndrico ó prismático se vaciará con tal ley, que dividido el tiempo total en partes iguales, y representando por la unidad la cantidad de líquido salida en el último tiempo; las cantidades salidas en los sucesivos tiempos anteriores seguirán la razon de los números impares naturales 1, 3, 5, 7.....

298. Esta propiedad da el método de construir una *clepsidra*, ó sea, un reloj de agua. Queriendo dividir la altura del líquido en doce partes tales, que el nivel las recorra en tiempos iguales, se dividirá esta altura en 144 partes iguales; de este número que es el cuadrado de 12 se quitará el cuadrado de 11, que es 121, la diferencia 23 será la extension del primer intervalo. Así de 121 se quitará 100 cuadrado de 10, el resíduo 21 representará el segundo intervalo; y así se determinará la magnitud de los demás intervalos, que estarán expresados por 23, 21, 19, 17, 15, 13, 11, 9, 7, 5, 3, 1: por lo que si la magnitud del vaso y la del orificio se han hecho con tal proporcion,

que el nivel baje la primera division 23 en una hora, se tendrá una clepsidra que se agotará en 12 horas, indicando el tiempo de hora en hora.

CAPÍTULO X.

DEL MOVIMIENTO DE LOS LÍQUIDOS POR LOS TUBOS LARGOS Y POR LOS CAPILARES.

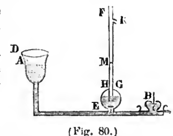
299. Corriendo un líquido por un tubo vertical ó inclinado, por efecto de la gravedad deberia aumentar su velocidad; pero el roce que sufre de las paredes del tubo, y la mútua atraccion de las moléculas líquidas, impiden este aumento, y producen en el líquido un movimiento sensiblemente uniforme. Si el tubo es horizontal, el roce de tal manera retarda la velocidad del líquido, que este no sale sino gota á gota. Y como los tubos de menor diámetro producen un roce respectivamente mayor con relacion á la masa líquida, tambien retardan mas su velocidad.

300. En los tubos capilares por causa del excesivo roce que en ellos sufre el líquido, el derrame será notablemente modificado. Los experimentos practicados á este efecto sobre tubos de diferente longitud y diámetro conducen á las dos leyes siguientes: 1.ª en igualdad de diámetro la velocidad está en razon inversa de la longitud: 2.ª en igualdad de longitud, la velocidad es directamente proporcional á la cuarta potencia del diámetro.

301. Cuando el líquido corre por un tubo con la velocidad que le corresponde, no ejerce presion alguna contra las paredes del tubo, aunque sean horizontales, lo que puede probarse abriendo un orificio en las mismas paredes; pero si por razon de algun obstáculo se retarda la velocidad del líquido, las paredes sufren una presion correspondiente á la resistencia que opone el obstáculo.

302. Si corriendo libremente el líquido por un tubo, se cierra de repente el orificio por donde sale, no pudiéndose aniquilar la velocidad de que estaba animado, ejerce una presion sobre todos los puntos de las paredes, que es tanto mayor, cuanto mayor es la masa líquida, y mas rápido su movimiento. Por lo que si en aquel instante se abre un orificio en algun punto del tubo, saldrá un chorro, que se elevará á una altura mucho mayor que la del depósito. Sobre este principio Montgolfier construyó una máquina que denominó *Ariete hidráulico* á causa de los sucesivos golpes producidos por el movimiento de las válvulas. Este aparato consiste en un tubo AB (fig. 80) cuyo ramo vertical comunica con el depósito D: en la extremidad horizontal del tubo hay un orificio, que puede cerrarse de dentro á fuera con una válvula C: en otro punto E del tubo hay otro orificio,

que se cierra de arriba á bajo por el propio peso de otra válvula E. Saliendo el líquido por este orificio, se recoge en el recipiente G; pero el aire contenido en él, comprimiéndose, obliga al líquido á subir por el tubo FH, hasta la altura M del nivel del depósito. Ahora permitiendo salir al líquido por el orificio B, este arrastra la válvula con su velocidad y cierra el agujero, ejerciendo por este motivo una fuerte presion sobre todos los puntos del aparato, que hace abrir la válvula E por donde penetra el líquido con fuerza, subiendo á una altura mayor que M. Habiéndose de este modo reducido á cero la velocidad del líquido en el tubo, por su propio peso cae dentro la válvula C, y así puede salir otra vez el líquido repitiéndose los mismos fenómenos. El aparato puesto una vez en accion, continua funcionando por sí mismo. Cuando la fuerza elástica del aire comprimido en el recipiente G, se equilibra con la presion ó fuerza que el líquido ejerce en el momento de cerrarse la válvula C, la columna del líquido en el tubo FH habrá llegado á su máxima altura, en cuyo caso la válvula E no podrá abrirse de nuevo; pero si debajo de la altura máxima por ej. en K se practica un orificio, por este saldrá el líquido, pudiéndose así tener un chorro contínuo por el descargador K.



(Fig. 80.)

CAPÍTULO XI.

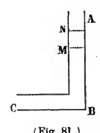
DE LOS CANALES Ó RIOS.

303. Se da el nombre de *canal* á un conducto abierto por su parte superior, ó á lo menos que tiene esta parte muy separada de la superficie de las aguas que corren por él. Como el canal está únicamente destinado á conducir las aguas desde su depósito á otro lugar, cualquiera que sea el retardo que sufre el líquido en el canal, siempre deberá salir la misma cantidad de agua que la que se introduce en él; por lo que se admite como ley fundamental de las aguas corrientes, que en cada seccion del canal la cantidad de agua que pasa está en razon inversa de su velocidad, pues para que un trozo de canal no se vacíe, ni salga de madre, es necesario que por todas las secciones pase en el mismo tiempo la misma cantidad de agua, lo que no puede verificarse, si donde crece la velocidad, no disminuye la masa, y al revés. Por lo que un rio al parecer mediocre, pero rá-

pido, puede llevar mucha mas agua, que otro mas grande, pero de pequeña corriente.

304. Si el álveo del canal ó rio no presentase ninguna escabrosidad, la velocidad de las aguas en igualdad de otras circunstancias seria proporcional á su inclinacion; pero las muchas irregularidades del terreno, el roce y otras causas lo hacen muy variable. En las orillas el líquido sufre un retardo producido por el roce, en el fondo además del roce el líquido sufre la presion de la masa que está encima; en la superficie el aire produce tambien un retardo. Así pues queriendo averiguar la velocidad de un determinado punto de un canal ó rio, es necesario tomar una media resultante de la velocidad observada en muchos puntos de una seccion vertical.

305. Varios instrumentos se han inventado para observar la velocidad de las aguas. Uno muy sencillo consiste en dos bolas unidas por un hilo, de las cuales una puede flotar y la otra sumergirse mas ó menos en el agua. Otro mas exacto es el *sifon hidrométrico de Pitot*, que consiste en un tubo ABC encorvado en ángulo recto (fig. 81): introducido el tubo dentro del agua, se vuelve la abertura C en el sentido de la corriente; y así el agua en el tubo se pone en el mismo nivel con la del rio, por ej. en M: luego revolviendo la misma abertura contra la corriente, el choque que resulta contra el agua contenida en el tubo levanta el nivel por ej. hasta N, por lo que MN representará la velocidad en aquel punto del rio. Con estos medios se reconoce que la mayor velocidad se halla á algunas pulgadas debajo de la superficie.



(Fig. 81.)

306. Cuando el álveo del canal ó rio es horizontal, el roce retarda las moléculas anteriores de la masa ácuea, estas á su vez retardan las que vienen atrás, y así el líquido se acumula en el canal, disponiéndose su superficie en una curva convexa. Al contrario, si el álveo es demasiado inclinado, la velocidad del líquido aumenta y la masa disminuye notablemente de profundidad. Combinando pues el roce que sufre el líquido con la inclinacion que debe darse al canal, se podrá obtener que la masa líquida conserve una constante profundidad.

307. Si un canal por una causa cualquiera se estrecha, debiendo pasar por él la misma cantidad de agua, esta aumenta de velocidad, lo que se puede observar debajo de los arcos de los puentes: lo opuesto sucede, cuando las orillas se ensanchan; pero cuanto mayor es la velocidad del líquido, tanto mayor es la fuerza que tiene para vencer el roce que sufre, y al revés: luego cuando se estrecha el canal, el líquido excava el fondo, y cuando se ensancha, deposita las piedras,

las arenas, los materiales que trasporta, aumentando así la profundidad en el primer caso, y disminuyéndola en el segundo.

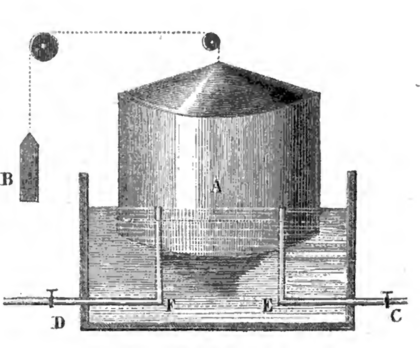
308. Con estas nociones es fácil darse razon de varios fenómenos, como son, la formacion de las barras en la embocadura de los rios, donde la corriente pierde su velocidad, por el obstáculo que las aguas del mar le oponen. 2.° El levantarse el álveo de los rios, hasta cambiar su direccion, por los despojos que contínuamente deposita, cuando su velocidad no es muy considerable. 3.° Las inundaciones que se producen, no ya cuando los torrentes introducen la mayor cantidad de sus aguas en un rio, sino cuando la disminuyen mucho, porque entónces perdiendo de fuerza, depositan los despojos, que antes podian arrastrar, impidiendo así el libre curso de las aguas. 4.° Tal vez los canales construidos para impedir el desbordamiento de los rios, son causa del mismo daño, que se pretende evitar, porque dividiendo las aguas, estas pierden la suficiente fuerza, para continuar arrastrando los despojos que llevan.

CAPÍTULO XII.

DEL MOVIMIENTO DE LOS FLÚIDOS ELÁSTICOS.

309. Los gases en su movimiento están sujetos tambien á las leyes hidrodinámicas; pero su teoría es mucho mas difícil y complicada, que la de los liquidos, por efecto de su elasticidad, que tiende contínuamente á dilatarlos, y en cuyo efecto influyen muchísimas causas, principalmente el calor.

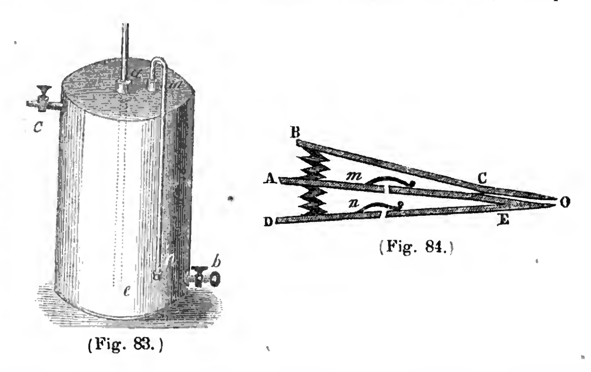
310. Los aparatos con que se obtienen las venas flúidas constantes de gas se llaman *gasómetros*. Sea A (fig. 82), un gran tubo metálico de paredes delgadas, cerrado por su parte superior, y puesto por la parte abierta encima de un depósito de agua. Por el tubo DF se introduce el gas, y por el tubo EC, sale girando la llave C. Cuando el tubo está lleno de gas, no se puede sumergir en el agua por efecto de



(Fig. 82.)

la impenetrabilidad del gas, pero se comprime un poco, y obliga al agua á elevarse algo en la parte exterior del tubo: ahora el peso de este tubo se regula con un contrapeso B, de modo que no haga sino una débil presion, la cual podrá hacerse constante, haciendo que la parte de cadena con que se une el tubo con el contrapeso, y que va pasando hácia el mismo tubo, pese tanto cuanto es la pérdida de peso que sufre la porcion del tubo introducida en el agua. En tal caso el gas comprimido siempre con igual fuerza saldrá por la llave C con igual velocidad.

311. Otro gasómetro presenta la (fig. 83), que consiste en un recipiente cilíndrico de cobre ó lata, con tres aberturas *a*, *b*, *c*: por la



(Fig. 83.)

(Fig. 84.)

abertura *a* pasa un tubo de conduccion que por la extremidad *e* llega casi hasta el fondo del recipiente, y por la otra extremidad comunica con un depósito de agua. Lleno el aparato de agua, se introduce el gas por la abertura *b*, dejando al mismo tiempo salir el líquido por la misma abertura: cerrada esta se abrirá el agujero *c* por donde saldrá el gas, cuya velocidad será proporcional á la velocidad y cantidad de agua que en un tiempo dado entrará en el gasómetro por el tubo de conduccion *ae*. Un tubo comunicante *mn* de cristal permite reconocer el volúmen de gas que habrá salido en un tiempo determinado.

312. Representando por s el orificio por donde sale el gas, y por v la longitud del cilindro flúido salido en un segundo, svt representará el volúmen salido en t segundos, que llamándolo m se tendrá $m=svt$, la cual ecuacion da el gasto teórico. Pero la experiencia no corresponde á este valor; porque si el gas sale por un orificio practicado en pared delgada, este valor se halla solo de 0,65; y si sale por un tubo adicional es de 0,93; y si por un tubo cónico abierto hácia

afuera, es de 0,94. Por lo que siendo estos resultados análogos á los que se obtienen en el derrame de los líquidos, por causa de la contraccion de la vena líquida (286), se concluye que tambien los gases al salir por orificios sufren una contraccion. Así pues llamando m' al gasto real y k al coeficiente de la contraccion, se tendrá la ecuacion $m'=ks\tau t$, que expresará la cantidad de gas salida por un orificio en un tiempo determinado.

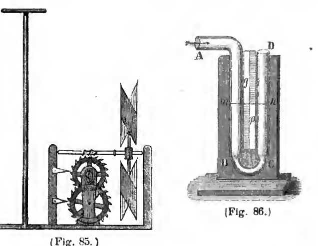
313. Cuando se quiere aumentar la velocidad de la salida de los gases, se hace uso de unos aparatos llamados *fuelles*. Para que la corriente sea contínua, el fuelle debe tener dos capacidades ABC y ADE (fig. 84), formadas con tres tablitas unidas entre sí por medio de un cuerpo flexible por ej. badana, ú otra cosa análoga. Apretando la tablita DE contra la AO, el aire comprimido en la capacidad ADE fuerza la válvula *m*, y se introduce en la capacidad ABC, saliendo luego por la abertura O, pero separando la misma tabla DE, el aire exterior abre la válvula *n* y entra en la capacidad ADE. Estos aparatos llamados *compuestos*, sirven para activar la combustion, y están en uso tambien en los órganos y acordiones. Si el fuelle no tiene mas que una capacidad, se dice *simple*.

314. Toda causa que perturbe el equilibrio de una masa gaseosa produce un movimiento, que en general llamamos *viento*. Entre estas causas una de las principales es el calor, por el cual aumentándose la elasticidad del gas se dilata, empujando al que lo rodea menos caliente, y así hecho específicamente mas lijero, se eleva segun las leyes hidrostáticas; el aire superior mas frio baja por ser mas denso y pesado, produciéndose una doble corriente, *afluente*, hácia la parte calentada, y *efluente* encima de ella. Fácil es observar estas dos corrientes opuestas en la entrada de un cuarto caliente, aplicando una vela encendida en su parte superior y otra en su parte inferior. Con este principio se explican las corrientes de aire en los hornillos, en las chimeneas, en la lámpara de Argant, etc., y tambien en gran parte los vientos, principalmente los constantes, y los periódicos de que se hablará en la Meteorología.

315. Tambien son notables los movimientos producidos por los cuerpos que se mueven en el aire. Así el curso de un rio por efecto del roce de sus aguas con el aire, produce una corriente en la direccion del mismo rio. Hay unos aparatos llamados *ventiladores*, por medio de los cuales se produce una corriente mas ó menos fuerte de aire, y consisten en un eje con algunas paletas encerradas en capacidades cilíndricas, que tienen dos aberturas, una ancha correspondiente al eje de rotacion, por donde entra el aire, y otra estrecha en direccion tangencial á la caja cilíndrica, por la cual el aire sale proyectado por la fuerza centrífuga comunicada por el giro de las paletas.

316. Para medir la velocidad de una corriente aeriforme se em-

plean unos aparatos llamados *anemómetros* que se disponen de diferentes modos. El *anemómetro de Combes* consiste en un eje que lleva cuatro alitas algo inclinadas entre sí, (fig. 85). El eje está euroscado en un tornillo sin fin, en cuyas espirales engranan los dientes de una rueda de 100 dientes de modo que en el paso de uno de estos el eje hace un giro. Además dicha rueda tiene un topecito, que en cada giro empuja un diente de otra rueda de 50 dientes, y así cada uno de estos supone 100 del eje ó molinillo. Dos índices fijos en los sostenes indican el número de dientes que han pasado de cada rueda. Finalmente un resorte separa el sistema de las ruedas, de modo que no toque al tornillo del eje. Queriendo hacer uso de este aparato, se coloca el eje en la direccion de la corriente, y con un cordoncito se tira



(Fig. 86.)

(Fig. 85.)

el resorte, para que los dientes de la rueda engranen en el tornillo y se deja girar el sistema por dos ó tres minutos, luego se suelta el resorte, y se calcula el número de giros que corresponde á un segundo. La experiencia á dado á conocer que la fórmula $v=a+bn$, en que a y b son cantidades constantes, y que deben determinarse para cada anemómetro, y n el número de giros en un segundo, expresa la velocidad con bastante exactitud.

317. Para determinar estas constantes se fija el anemómetro á la extremidad de una barra, y luego llevándolo con mas ó menos velocidad en un recinto cerrado de determinada longitud, las alas girarán en el aire en reposo con la misma rapidez, que si el aparato estando en reposo, recibiese la impresion de una corriente.

318. El *anemómetro de Lind* análogo al tubo de Pitot (fig. 86) consiste en dos tubos AB, CD de unos veinte milímetros de diámetro

unidos con un tubito encorvado, llenos de agua hasta el nivel *mn*. Poniendo la abertura A en direccion contraria á la de la corriente aeriforme, baja el nivel en el tubo AB y sube en el otro, midiéndose el efecto con las escalas *p* y *q*. Siendo *d* la diferencia del líquido en ambos brazos la velocidad se calcula por la ecuacion $v=a+b\sqrt{d}$, siendo *a* y *b* dos cantidades constantes que conviene determinar para cada aparato.

319. Tambien se construyen balanzas anemométricas, cuyo fiel es una planchita que se expone á la direccion de la corriente ; y así se necesitan ciertos pesos para mantener la balanza en equilibrio, los cuales medirán la fuerza de la corriente.

LIBRO CUARTO.

ACCIONES MOLECULARES.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA ATRACCION MOLECULAR.

320. La divisibilidad efectiva de los cuerpos nos manifiesta que estos constan de partes sumamente pequeñas llamadas *partículas* separables con procedimientos mecánicos; estas partículas las mas de las veces están formadas de otras partecitas menores, que se denominan *moléculas*, separables por medios químicos y tambien físicos; finalmente las moléculas en la formacion de las particulas, entrando por distinta cantidad, se deberán considerar como grupos de otras partes menores, que toman el nombre de *átomos*. Así por ej. el polvo impalpable á que reducimos el cristal de roca, constituirá sus partículas, estas descomponiéndose en oxígeno y en silicio, nos darán sus moléculas, y finalmente las partes, que forman los grupitos de oxígeno y de silicio, serán sus átomos.

321. Entre estas diferentes partes del cuerpo existen ciertos lazos que las tienen unidas entre sí, y para romperlos se necesita un esfuerzo mas ó menos considerable. Así pues estos lazos deben considerarse como otras tantas fuerzas, que toman el nombre de *fuerzas moleculares*, y su efecto se llama *atraccion molecular*. Si esta se ejerce entre partes de una misma naturaleza, como son las que forman un trozo de oro, ó do plomo, se llama *homogénea ó de agregacion*, y si tiene lugar entre moléculas de cuerpos de diferente naturaleza, como entre las del cobre y zinc que constituyen el laton, se llama *heterogénea ó química ó de composicion*.

322. La atraccion molecular toma el nombre de *cohesion*, cuando tiene unidas moléculas semejantes, y consiste en la trabazon que tienen entre sí dichas moléculas. La cohesion es muy grande en los sólidos, débil en los líquidos, é insensible en los aeriformes. Además es muy diferente en losdiferentes cuerpos, y en un mismo cuerpo es muy diferente, si las moléculas de que se compone el sólido están mas ó menos acumuladas en un sentido que en otro. Una madera por ejemplo

fácilmente se rompe en el sentido de sus fibras, pero no en el sentido perpendicular á ellas. Lo mismo sucede con el mármol y con muchísimos otros cuerpos de estructura fibrosa.

323. La atraccion molecular ejerce su accion solamente en distancias sumamente pequeñas, y es abolutamente insensible en distancias sensibles. Separada una pequeña parte de un sólido, cesa toda cohesion con lo restante del cuerpo, mientras se distingue el menor indicio de separacion. Nada influye la masa en la cohesion de las partes, pues un pequeño fragmento separado de lo restante de la masa, resiste igualmente á la lima, que antes de su separacion.

324. Dentro de los límites en que la atraccion ejerce su accion, las moléculas se encuentran unidas en un estado de equilibrio estable, pues si por medio de la presion, traccion, torsion, ó flexion, se las hace cambiar de lugar entre dichos límites, vuelven luego á su primitiva posicion, recobrando el cuerpo su anterior volúmen y figura, lo cual no sucederia, si las moléculas no se hallasen en equilibrio estable. No se conoce á que leyes está sujeta la atraccion molecular.

325. La atraccion molecular tiene tambien accion entre los sólidos y los líquidos que los mojan; como tambien entre las moléculas de los mismos líquidos, y muchos fenómenos tienen su causa en ella. Puesta una lámina sobre la superficie de un líquido que la moja, se necesita un cierto esfuerzo para separarla, y como dicha lámina queda toda mojada, es evidente que el esfuerzo se ha empleado en separar las moléculas líquidas entre sí. Por esta razon cualquiera que sea la substancia de la lámina, si esta tiene el mismo diámetro, siempre se necesita el mismo esfuerzo para separarla del líquido, que la moja. Además en los diferentes líquidos se necesita diferente esfuerzo, lo que demuestra su grado diferente de atraccion.

326. Para observar estos efectos se suspende de un brazo de la balanza una lámina bien horizontal, equilibrándola con un conveniente contrapeso, luego se le acerca la superficie del líquido hasta tocarla, por su cara inferior, y entónces con cautela se van añadiendo pesos al otro plato hasta despegar la lámina. Un disco de vidrio de 118,4 milímetros de diámetro, necesitó para despegarse del agua 59,4 gramos, y para separarla del alcohol 31,1 gramos en una temperatura de 8 grados.

327. Por efecto de esta atraccion en los líquidos observamos, que cuando estos están en pequeñas porciones sobre cuerpos que no mojan, se disponen en forma de globitos, tanto mas redondos, cuanto menor es su volúmen, como es fácil ver en las gotitas que forma el rocío en las hojas de las plantas, ó bien derramando mercurio sobre una mesa horizontal, y tambien agua, esparciendo antes sobre la mesa un polvo fino. Cuando el líquido se halla en mucha masa, la pesantez le impide disponerse en la forma esferoidal. Así tambien se pue-

de llenar un vaso hasta algunos milímetros sobre sus bordes sin que se derrame el líquido.

328. La atraccion molecular ejerce tambien una cierta accion entre las moléculas superficiales de los diferentes cuerpos puestos en contacto, en cuyo caso este efecto toma el nombre de *adhesion*. Así, quitando un segmento á dos balas de plomo, y reuniéndolas por sus superficies bien planas y lisas, de modo que se excluya enteramente el aire, para separarlas se necesita el esfuerzo de algunas libras de peso. Dos discos de mármol, de vidrio, ó de metal bien lisos producen un efecto semejante. Los vidrios á veces quedan tan pegados, que primero se rompen, que se separen.

329. Este efecto es mucho mayor, si entre las superficies en contacto se interpone un velo sutil de cera fundida, ó de sebo, ó de aceite, etc., porque estas substancias establecen un lazo entre muchas moléculas de una y otra superficie que se hallan fuera de los límites de mútua atraccion, pero no muy distante de ellos. Así dos cilindros de acero de unos tres centímetros de diámetro, pegados por sus bases con cera fundida, llegan á sostener 400 libras de peso antes de separarse. Con cilindros de mármol, de laton, de bronce, de hierro untado con sebo, se han llegado á sostener desde 600 á 950 libras de peso. En esta propiedad está fundado el uso de las diferentes gomas y colas, de que se sirven las artes para pegar los cuerpos.

330. El efecto de la adhesion se experimenta tambien entre los sólidos y los líquidos en contacto. Puesto un disco de cristal sobre la superficie del mercurio, se necesita un peso considerable para despegarlo, no obstante que no lo moje. Lo mismo se experimenta con otros cuerpos. Todos conocen la adhesion del vidrio con la amalgama de estaño, con que se forman los espejos ordinarios.

331. La adhesion no puede atribuirse á la presion, que el aire ejerce sobre los cuerpos puestos en contacto, porque en primer lugar este fenómeno se observa tambien en el vacío; además muchísimas veces los cuerpos sostienen pesos superiores á la presion atmosférica. Pero depende de la naturaleza de las substancias, y del mayor ó menor número de puntos que se tocan. Además se ha observado que cuanto mas tiempo han estado los cuerpos en mútuo contacto, tanto mas fuerza se necesita para su separacion.

CAPÍTULO II.

DE LA TENACIDAD DE LOS CUERPOS.

332. Dependiendo la cohesion de los cuerpos de la disposicion y forma de sus moléculas, es claro que esta propiedad debe variar mu-

cho en los diferentes cuerpos sólidos. Uno de sus resultados es la *tenacidad*, ó sea la resistencia que un sólido opone para romperse. Esta propiedad no solo varia con las substaucias, sino tambien con la forma del cuerpo. Un prisma resiste menos que un cilindro de igual seccion : así tambien un cilindro hueco opone mas resistencia á romperse, que otro macizo de igual masa y longitud. Además los cuerpos fibrosos son mas tenaces en el sentido de la longitud de sus fibras, que en el sentido trasversal. Finalmente la tenacidad disminuye bajo la accion continuada de la fuerza, que tiende á romper un cuerpo.

333. Para apreciar esta resistencia, se reduce el sólido á la forma de una barra cilíndrica, ó prismática, y la fuerza que debe romperla se aplica, ó bien en el sentido de la longitud de la barra, ó bien en el sentido normal á ella. Ensayando la tenacidad segun el primer modo, se observa que la resistencia es independiente de la longitud de la barra, y proporcional á la superficie de la seccion perpendicular á la direccion de la fuerza empleada para romperla. Sea p esta fuerza ó peso empleado, y s la seccion del prisma en milímetros cuadrados $\frac{p}{s}$ representará el esfuerzo hecho por cada milímetro cuadrado de seccion, cuyo valor es el que se suele tomar para la medida de la tenacidad. En los metales esta fuerza es poco mas ó menos triple de la que corresponde al límite de elasticidad del sólido. Debe notarse que en los hilos metálicos la tenacidad es tanto mayor bajo la unidad de seccion, cuanto menor es su diámetro ; así ofrece mayor resistencia un manojo de cien alambres de un milímetro de seccion cada uno, que una barra maciza de cien milímetros cuadrados de seccion.

334. La tabla siguiente expresa el número de kilógramos, por milímetro cuadrado de seccion, que sostienen las respectivas sustancias en el momento de romperse.

SUSTANCIAS.	PESO.	SUSTANCIAS.	PESO.
Hierro en alambre. .	60 kilóg.	Madera de Boj.. .	14 kilóg.
Hierro en barra. . .	45 »	» de Fresno.	12 »
Aluminio recocido. .	28 »	» de Abeto..	9 »
Cobre laminado. . .	21 »	» de Haya. .	8 »
Hierro fundido. . .	14 »	» de Roble..	7 »
Laton.	12,6 »	» de Caoba .	5,6 »
Aluminio fundido. .	11, »	» de Pino.	5,1 »
Plomo laminado. . .	1,35 »		

335. Cuando la fuerza destinada á romper el cuerpo obra en sentido normal á su mayor dimension, el cuerpo comienza por doblarse,

y finalmente se rompe. La resistencia que opone el cuerpo depende del modo con que está sostenido, y del punto de aplicacion de la fuerza. La experiencia muestra que estando fijo un cuerpo prismático por uno de sus extremos, y aplicando un peso en el otro, en igualdad de circunstancias la resistencia está en razon inversa de su longitud, en razon directa de su anchura, ó sea de la dimension perpendicular á aquella, en que el sólido tiende á doblarse, y en razon directa del cuadrado de su dimension vertical ó espesor. Si el prisma está fijo por ambos extremos, y se aplica el peso en medio, la resistencia es doble; pero si los extremos de la barra están simplemente apoyados, la resistencia es solamente $\frac{2}{3}$ de la que seria si estuviesen fijos. Finalmente aplicando el peso en un punto que divide la fuerza en dos partes m, y n, el peso que se necesita para romperla está en razon inversa del producto mn.

336. Para representar por una fórmula esta resistencia R, sea $2l$ la longitud del prisma fijo por sus extremos, b su anchura, a su altura ó espesor, esto es la dimension opuesta á la direccion del peso p aplicado en su punto medio, se tendrá $R=\frac{p.b.a^2}{l}$. Sea por ej. $b=20$ milímetros, $a=30$ milímetros, y $l=$un metro, se tendrá $R=18.p$; substituyendo por p su valor en kilog. dado por la experiencia, se conocerá la resistencia que hace el cuerpo prismático al momento de romperse. Las tres dimensiones se deben expresar con la misma unidad de medida. Entre los arquitectos la dimension mas larga, cuyos extremos se fijan se llama *largo*, la siguiente se dice *tabla*, y la mas estrecha se llama *canto:* así dicen asentar una viga de *canto* ó de *tabla*.

337. Cuando el sólido está fijo por una extremidad, se rompe cerca del punto fijo; si se fija por ambos extremos, se rompe en tres partes, esto es, en medio y cerca de los extremos; pero si está simplemente sostenido, se rompe solo por medio; pero estos efectos son susceptibles de mucha variacion, por falta de homogeneidad en la sustancia, y por otras circunstancias que no es fácil determinar.

338. Si sobre una barra simplemente apoyada se descarga un golpe rápido y violento capaz de romperla, la accion del golpe no tiene tiempo de comunicarse á los apoyos, y así estos no sufren la menor presion, lo que puede experimentarse, sosteniendo un baston por sus extremos sobre dos hilitos muy delgados, que no se rompen rompiéndose el baston. Así tambien descargando una bala de fusil, contra un vidrio cercano, la bala por su velocidad pasa el vidrio sin romperlo, llevándose solamente la parte que se opone á su paso.

CAPÍTULO III.

DE LA DUREZA, DUCTILIDAD Y FLEXIBILIDAD DE LOS CUERPOS.

339. La palabra *dureza*, se toma en tres diferentes sentidos. El vulgo llama *duros* á los cuerpos, que resisten al choque y á los golpes del martillo, y llama *frágiles* á los opuestos. Los mecánicos entienden por cuerpos *duros*, los que no son elásticos, esto es, aquellos cuyas moléculas en el choque no cambian de posicion. Los físicos y mineralógicos entienden por *dureza* la resistencia que un cuerpo opone á ser rayado por otro. Así el vidrio aunque frágil, es mas duro que el mármol, el cuarzo lo es mas que el vidrio, y el diamante lo es mas que todos, porque los raya á todos y no es rayado sino por sus propios polvos. M. Deville ha obtenido el boro en cristales límpios tan duros, que llegan á rayar al mismo diamante. Los que como la cera se dejan rayar fácilmente, se llaman *blandos*. Los metales en estado de pureza son bastante blandos, las aleaciones suelen ser mucho mas duras. Incorporando al acero fundido 2 ó 3 partes por ciento, de tungsteno, se obtiene un acero durísimo y muy resistente y convenientísimo para los utensilios ordinarios, los cuales así conservan la afinadura por un tiempo cuatro veces mayor. La dureza tomada en el sentido físico suele ser proporcional á la elasticidad.

340. Algunos cuerpos como el acero, el hierro, el vidrio, etc., adquieren un grado muy considerable de dureza por medio del *temple*, que consiste en el enfriamiento rápido del cuerpo, cuando se halla en una temperatura muy elevada. Al mismo tiempo se aumenta tambien su elasticidad y su fragilidad, sobre todo en el vidrio. Notable es la fragilidad de las *lágrimas batávicas*, que son las gotas de vidrio, que se hacen caer en el agua muy fria, mientras están aun en estado de fusion. Rompiendo con los dedos la punta de dicha lágrima, toda se reduce á pequeños fragmentos, y no obstante resiste á los golpes de martillo. Es de advertir que el temple dado á una aleacion compuesta de cuatro partes de cobre y una de estaño, produce un efecto enteramente opuesto. Esta liga con que se hacen los *tam-tams* de los chinos, enfriada lentamente se hace tan dura y frágil como el vidrio, y enfriada rápidamente se puede trabajar con el martillo.

341. Llámase *ductilidad* la propiedad que tienen muchos sólidos de dejarse mas ó menos extender sin romperse, conservando la nueva forma que se les da. Las moléculas de estos cuerpos por efecto de la fuerza, á que se las sujeta, resbalan las unas sobre las otras, sin salir de los límites de la esfera de atraccion, que las tiene unidas.

342. Algunos cuerpos se dejan modelar facilmente con los dedos

como la cera caliente, la arcilla húmeda, etc.; para otros se necesita la accion del martillo, ó de otra fuerza extraordinaria. El calor suele aumentar la ductilidad de las sustancias, y el frio disminuirla: así el vidrio, el lacre, las resinas, etc., se extienden con suma facilidad cuando están muy calientes, y frias se rompen fácilmente. No obstante el plomo y el estaño son muy ductiles en frio, y se rompen cuando se hallan en una temperatura cercana al punto de fusion.

343. La ductilidad de los metales puede ensayarse ó con el *martillo*, ó con el *laminador*, ó con la *hilera*. Los que fácilmente se extienden con el martillo, se llaman *maleables* y con este modo tienen el siguiente órden: plomo, estaño, oro, zinc, plata, cobre, platino, hierro: con el laminador siguen este otro órden: oro, plata, cobre, estaño, plomo, zinc, platino, hierro; pero tirados en hilos deben colocarse de esta otra manera: platino, plata, hierro, cobre, oro, zinc, estaño y plomo. La ductilidad del platino con la hilera es tal, que Wollaston pudo obtener hilos de $\frac{1}{1200}$ milímetros de diámetro, de modo que 1000 metros no pesaban mas que 5 centígramos.

344. Con la accion del martillo, del laminador, de la hilera, y de otras acciones mecánicas, que aumentan la densidad de los cuerpos, estos pierden ductilidad, y se rompen fácilmente; pero *recociéndolos*, es decir, volviéndolos á calentar, y dejándolos enfriar lentamente recobran otra vez la ductilidad.

345. *Flexibilidad* es la propiedad que tienen muchos cuerpos de dejarse mas ó menos doblar, sin romperse. Además de los cuerpos ductiles hay muchos otros, que gozan de esta propiedad, como el talco, el amianto, la mica, muchas sustaucias orgánicas, como la seda, pieles, algodon, etc. Algunos cuerpos no son flexibles sino reducidos á hilos muy delgados, como el vidrio, el hierro, etc. En general cuanto mayor es el diámetro del cuerpo, tanto menor es su flexibilidad, porque las moléculas de la parte convexa, debiendo girar al rededor del punto interior, tanto mas deben alejarse mútuamente, cuanto mas grueso es el cuerpo que se dobla.

CAPÍTULO IV.

DE LA CRISTALIZACION DE LAS SUSTANCIAS.

346. Otro de los efectos de la atraccion molecular es la estructura que tienen los sólidos, cuyas moléculas tienden á unirse mas bien en un sentido que en otro, resultando de aquí las innumerables formas que afectan los sólidos, tal vez muy regulares. Cada cuerpo tiene su propia figura y estructura: los que están formados de partes

destinadas á ciertas funciones, como los animales y vejetales, se llaman *organizados;* los que constan de partes semejantes simplemente agrupadas se dicen *inorgánicos*. Entre estos los que tienen una figura naturalmente regular, toman el nombre de *cristales*, sean ó no trasparentes.

347. Con tres diferentes procedimientos los cuerpos toman la forma cristalina, á saber: por *solucion*, por *fusion* y por *sublimacion*. El primero consiste en que disuelta una sustancia en un líquido conveniente, evaporado este, las moléculas de la sustancia disuelta, se vuelven á reunir en una forma regular. El segundo consiste en que fundida una sustancia por medio del calor, al enfriarse vuelve al estado sólido, comenzando por la superficie, ó costra; pero antes que toda la masa se solidifique, por un agujero practicado en la costra se derrama la parte aun liquida, y la restante se ve toda revestida de cristalitos. El tercero consiste en que evaporándose una sustancia, sus moléculas vuelven á reunirse en forma regular en la parte superior mas fria del vaso en que se evapora.

348. Para que los cristales sean bien regulares, es necesario que la atraccion molecular no esté perturbada por otras causas. Así el líquido en que se ha disuelto la sustancia cristalizable, no debe estar demasiado agitado, ni la evaporacion debe ser demasiado rápida. Cuanto mayor será la cantidad de solucion, y ésta mas concentrada, los cristales serán mayores y mejor formados.

349. Ciertas sustancias se muestran siempre ó casi siempre cristalizadas de una misma manera, como la *anfigena;* otras al contrario se presentan bajo formas muy diferentes; éstas con todo tienen un comun vínculo que las une. Así el prisma exaedro es una de las innumerables formas del *carbonato de cal*, pero de las seis aristas de una de sus bases, tres alternativamente se dejan cortar mecánicamente en caras planas, como tambien otras tres alternantes con estas en la base opuesta. Con esta operacion el cristal se reduce á un romboedro, cuyo ángulo mayor es de 105° 5'. Un semejante romboedro se saca de cualquiera otra variedad de esta sustancia: y lo mismo se observa en las demás. Así la *esmeralda* da un prisma exaedro regular; la *piroxena*, un prisma oblícuo romboidal, etc. El sólido así obtenido se llama *forma primitiva* del cristal, para distinguirla de las demás que toman el nombre de *secundarias*.

350. La forma primitiva no es el último término de la division en caras planas, porque aun se deja cortar paralelamente á ellas. Así el paralelepípedo disminuye de volúmen, pero no varia de forma, el prisma exaedro se resuelve en prismas triangulares, y el dodecaedro romboidal en 24 tetraedros. Estas últimas partes obtenidas con la division mecánica de la forma primitiva, se llaman *moléculas integrantes*.

351. Los cortes en caras lisas y planas con que se dejan dividir los cristales, nos muestran que estos están formados por laminitas sobrepuestas á la forma primitiva, tanto menores, cuanto mas se alejan de ella. Este decremento es regular, porque produce caras planas, no siendo otra cosa las caras de los cristales secundarios, que la suma de los límites de estas láminas sobrepuestas.

352. Las series de moléculas que faltan á cada lámina sobrepuesta podrán estar dispuestas de diferentes modos; pero los centros de estas moléculas estarán siempre en línea recta. Así pues, los decrementos podrán ser ó *laterales*, ó *angulares*, ó *intermedios*, segun que la línea central sea paralela al lado de la forma primitiva, ó á la diagonal ó inclinada á ambas. Imagínese una pirámide compuesta de láminas cuadradas decrecientes sobre cada una de las seis caras del cubo; siendo seis las pirámides, las caras triangulares serán 24, y como el decremento por todas partes es uniforme, las caras triangulares aparecerán la una como continuacion de la otra en dos pirámides adyacentes, y así resultarán 12 rombos iguales y semejantes, que habrán transformado el cubo en un dodecaedro romboidal.

353. Se llaman decrementos en *longitud*, cuando la laminita sobrepuesta tiene la altura de una molécula, y es menos ancha que la inferior de dos, tres ó mas series de moléculas. Decrementos en altura son aquellos en que la lámina es menos ancha que la inferior de una serie de moléculas, pero su altura es doble, triple, etc. El dodecaedro pentagonal de la pirita de hierro presenta unidas estas dos especies de decrementos, por las que el cubo primitivo es trasformado en dicho dodecaedro.

354. No siempre se encuentran los cristales aislados. Las mas de las veces se presentan embutidos dentro de otros cuerpos, de la misma ó de diferente naturaleza, diciéndose *implantados*, *sobrepuestos*. Otras veces reunidos por sus caras semejantes forman grupos mas ó menos regulares, en los que se distinguen ya partes muy límpidas, ya tambien groseras, en que la reunion no ha sido muy perfecta. Muchas veces se reunen los cristales en todas direcciones, dando orígen á las configuraciones *redondeadas*, *ovaladas*, *mamelonares*, *dentríticas*, *tuberosas*, *lenticulares*, *aguiformes*, *estalactitas*, *estalagmitas*, *paniformes*, etc. Finalmente no pocas veces una multitud de cristalitos sumamente pequeños, están unidos de modo que parecen formar un solo cuerpo, el cual toma el nombre de *laminar*, *fibroso*, *granular*, etc., segun la apariencia que presenta. Todos estos deterioros que sufren las masas cristalinas, ó la sustancia al cristalizar, se deben atribuir á los impedimentos, que se han opuesto á la perfecta reunion de sus moléculas.

355. Los cristales que se forman en el agua, se suelen apropiar una cierta cantidad, que se llama *agua de cristalizacion*, la cual for-

ma parte del cristal, y varía su cantidad en una misma especie de cristales segun la temperatura. Perdiendo el cristal su agua de cristalizacion, se suele convertir en polvo, el cual efecto se conoce con el nombre de *eflorecencia*, y los cristales se dicen *eflorecentes*.

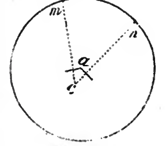
356. El agua de cristalizacion no debe confundirse con el *agua madre*, que es aquella en que se ha formado el cristal, y que frecuentemente llena las rendijas, que dejan las láminas en los cristales mayores. Esta agua llevándose consigo las moléculas estrañas que tiene en suspension, enturbia la diafanidad del cristal, y por esta razon los cristales mas pequeños suelen ser mas puros y diafanos.

CAPÍTULO V.

DE LA FORMA EXTERIOR DE LOS CRISTALES, Y SU REDUCCION Á SEIS SISTEMAS.

357. Cuando la atraccion molecular no ha sido perturbada por causas extrínsecas, los sólidos cristalinos que se han formado, son poliedros terminados por planos y aristas, ó ángulos diedros, cuyo valor es siempre constante, mientras lo es la temperatura y la composicion química de la sustancia. Se llaman ángulos del cristal, los ángulos formados por tres ó mas planos en un punto. Los ángulos se dicen *semejantes ó de la misma especie* cuando se componen de ángulos planos iguales, é igualmente colocados.

358. Los ángulos diedros de los cristales se miden con los instrumentos llamados *goniometros*. El mas sencillo consiste en un semicírculo graduado, en cuyo centro hay una reglita móvil, entre la cual y el diámetro se aprieta el ángulo diedro del cristal. Para obtener esta medida con mas exactitud se prefieren los *goniometros de reflexion*. El de Wollaston consiste en un círculo graduado, á cuyo centro se fija el cristal, de modo que la arista esté bien perpendicular al plano del círculo, se observa por reflexion un objeto lejano y luego se gira el círculo hasta ver el mismo objeto reflejado en la cara inmediata. La magnitud del ángulo es el suplemento de los grados que el círculo ha girado; pues siendo *a* el ángulo diedro del cristal (fig. 87), las dos perpendiculares *mc* y *nc* que determinan los ángulos de incidencia y de reflexion, dan el número de grados que el gionometro recorrerá, ó sea, el valor del ángulo *c* que es suplemento de *a*.



(Fig. 87.)

359. Se llama *forma simple* de un cristal, cuando este consta de caras todas semejantes, y *formas compuestas*, cuando las caras son

de diferente especie. Si en una forma compuesta se concibe que se dilatan todas las caras de una misma especie, se obtiene una forma simple. Se dice *forma dominante* aquella forma simple que en un cristal se halla mas desarrollada. Las formas compuestas toman el nombre de *combinaciones cristalográficas*.

360. Estas modificaciones consisten en ciertas laminitas, con que terminan los ángulos diedros, ó los ángulos sólidos. Ordinariamente las aristas ó los ángulos sólidos de la misma especie, ó no son modificados, ó lo son todos á la vez, y de la misma manera: así tambien las aristas ó ángulos sólidos de diferente especie, son modificados diferentemente. Así el cubo, ó queda intacto, ó todos sus ángulos sólidos ó aristas son modificados del mismo modo; pero en el prisma de base cuadrada las ocho aristas de las bases, son modificadas de diferente modo que las cuatro laterales.

361. Las formas simples se modifican tambien dilatándose algunas caras solamente del cristal; de este modo resultan formas que tienen solamente la mitad, ó la cuarta parte de la forma precedente. Estas formas se llaman *hemiédricas* ó *tetrartoédricas;* así el tetraedro es la hemiedria del octaedro, y el romboedro la del dodecaedro bipiramidal.

362. En todo cristal hay un punto interior llamado *centro*, por el cual pasando una recta, queda dividida en dos partes iguales. Estas rectas toman el nombre de *ejes*, cuando las caras ó planos del cristal tienen una posicion simétrica á su rededor. Los ejes se llaman de la misma especie, cuando unen ángulos sólidos de la misma especie, ó los puntos medios de los aristas iguales, ó los centros de las caras iguales.

363. Todos los cristales con relacion á los ejes pueden clasificarse en seis sistemas. El primero está caracterizado por tres ejes de la misma especie perpendiculares entre sí. El 2.° por tres ejes perpendiculares entre sí, de los cuales dos son de la misma especie. El 3.° por tres ejes perpendiculares entre sí, todos de diferente especie. El 4.° por tres ejes de diferente especie, uno perpendicular á los otros dos oblícuos entre sí. El 5.° por tres ejes de diferente especie, todos oblícuos entre sí. El 6.° por cuatro ejes uno perpendicular á los otros tres colocados en un mismo plano, y que mútuamente se cortan bajo un ángulo de 60°. En cada uno de estos seis sistemas todos los poliedros se pueden concebir derivados de una misma forma simple tomada arbitrariamente entre las que son propias de aquel sistema.

364. El primer sistema llamado *regular* ó *cúbico*, consta de las siguientes formas simples: 1.ª El octaedro regular (*alumbre*). 2.ª El cubo (*salgema*). 3.ª El dodecaedro romboidal (*melanitas*). 4.ª El trapezoedro terminado por 24 cuadriláteros simétricos (*anfígena*). 5.ª El cubo piramidal terminado por seis pirámides sobre las caras del cubo.

6.ª El octaedro piramidal por ocho pirámides sobre las caras del octaedro (*diamante*). 7.ª El exakisoctaedro por cuarenta y ocho caras triangulares (*diamante*). 8.ª Finalmente el tetraedro regular derivado por hemiedria del octaedro (*cobre gris*).

365. La simetría de este sistema no requiere la igualdad en las dimensiones de las caras, porque estas por una causa cualquiera pueden haber tenido un desarrollo muy diferente. No obstante estas caras conservan constantemente su mútua inclinacion.

366. Los cristales pertenecientes á este sistema se comportan en general, como los mejores medios homogéneos, cuando son atravesados por un rayo luminoso, y no le hacen experimentar sino la refraccion simple.

367. El segundo sistema llamado *tetragonal ó prismático de base cuadrada* tiene las formas simples siguientes: 1.º el octaedro de base cuadrada (*molibdato de plomo*), en el cual existe una perfecta simetría al rededor del eje desigual, que se dice *eje principal;* pero no al rededor de los otros dos que se dicen *secundarios*, cuyo plano se llama *base* del cristal. 2.º El prisma recto de base cuadrada (*zircon*). 3.º El dioctaedro formado por dos pirámides de ocho triángulos cada una. 4.º El prisma de ocho planos laterales. La modificacion de una lámina en los ángulos *terminales* del eje principal, reduce tal vez el cristal á la forma de láminas que toman el nombre de *cristales tabulares*.

368. Los cristales del segundo sistema con respecto á la luz producen los fenómenos de la doble refraccion á un eje. El eje principal suele ser tambien el de la doble refraccion.

369. El tercer sistema llamado *rómbico ó prismático* tiene las siguientes formas simples 1.º el octaedro de base rectangular (*anglesita*), ó de base rombal (*topacio*). 2.º El prisma rectangular (*karstenita*) ó rombal (*baralina*). Prolongándose extraordinariamente algunas caras, resultan los sólidos conocidos con el nombre de *tablas biseladas*.

370. Los cristales de este sistema, como tambien de los dos siguientes, gozan de la doble refraccion de la luz á dos ejes.

371. El cuarto sistema llamado *prismático rectangular oblícuo* puede tener por forma simple un octaedro ó un prisma de base romboidal. Las *pirósenas*, el *yeso*, el *feldespato* y muchísimos otros pertenecen á este sistema, en el cual con mucha frecuencia se producen las *formas hemiédricas*, como tambien *los cristales tabulares*.

372. El quinto sistema llamado *oblícuo ó disimétrico* puede tener por forma simple un octaedro compuesto de cuatro grupos diferentes de triángulos, cuyas caras opuestas son paralelas. Muy poco comunes son las sustancias, que cristalizan en este sistema, al cual pertenece el *sulfato de cobre artificial*, que cristaliza en un prisma romboidal muy oblicuo y modificado en dos aristas opuestas.

373 El sexto sistema llamado *exagonal* ó *romboédrico* tiene las siguientes formas simples. 1.ª El dodecaedro exagonal (*cristal de roca*). 2.ª El prisma de seis planos verticales. 3.ª El didodecaedro. 4.ª El prisma de doce planos verticales. Muchas veces se combina la primera forma con la segunda (*cristal de roca*), y la 3.ª con la 4.ª (*fosfato de cal*). Por hemiedria pertenecen á este sistema los *romboedros* y los *escalenoedros*.

374. Los *romboedros* se originan de la supresion de las caras alternativas de la pirámide superior del dodecaedro, y de las que les son paralelas en la pirámide inferior (*carbonato de cal*). El romboedro es un sólido terminado por seis rombos iguales; tiene ocho ángulos sólidos de los cuales dos opuestos é iguales entre sí constan de tres ángulos planos iguales, los otros seis ángulos sólidos tambien iguales entre sí tienen dos ángulos planos iguales entre sí, y el tercero suplementario de uno de ellos. El eje principal es el que une los dos ángulos opuestos iguales, cuyas aristas se llaman *culminantes* y las otras por oposicion se dicen *laterales*. Los ejes secundarios son los que unen los puntos medios de las aristas laterales. Si los ángulos sólidos á la estremidad del eje principal están formados por ángulos planos agudos, el romboedro se llama *agudo*, y si lo está por tres ángulos obtusos, *obtuso*.

375. Los *escalenoedros* bastante comunes en este sexto sistema, están compuestos de doce triángulos escalenos, unidos seis á seis en dos ángulos opuestos que se dicen *vértices*, y son de la misma especie, los ángulos laterales son de dos especies que se alternan entre sí. Las aristas laterales son de la misma especie; pero las culminantes son de dos, que se alternan entre sí y con las del vértice opuesto.

376. Muchísimos son los cristales que pertenecen á este sexto sistema, cuyas formas se pueden estudiar principalmente en el cuarzo, espato de Islandia, esmeralda, corindon, etc. Los cristales de este sistema presentan los fenómenos de la doble refraccion de la luz á un eje y los de la polarizacion circular.

377. Ordinariamente los cuerpos que tienen una misma composicion química, cristalizan en un mismo sistema; tales cuerpos se llaman *isomorfos*. Algunas sustancias de la misma naturaleza cristalizan en formas que pertenecen á diversos sistemas; estas sustancias se dicen *polimorfas*, tal es el carbonato de cal, que en el espato de Islandia cristaliza en un romboedro, y en la aragonita en prisma derecho. *Dimorfos* son el azufre, el carbono, la pirita de hierro y otros varios. Estas variaciones pertenecientes á diferentes sistemas suelen tambien tener diferentes propiedades físicas.

378. Finalmente las circunstancias, que influyen en las variaciones de las formas en los diferentes sistemas, son la temperatura, la naturaleza del líquido en que cristalizan, y las sustancias estrañas

que tal vez se les mezclan. Así el alumbre, que ordinariamente cristaliza en octaedros regulares, en una temperatura superior á 100° cristaliza en dodecaedros regulares, ó en trapezoedros. El mismo alumbre mezclado con ácido bórico da el cubo. Al reves la salgema, que se presenta ordinariamente en cubos, se modifica en cubos octaedros, mezclada con ácido bórico.

CAPÍTULO VI.

DEL MOVIMIENTO VIBRATORIO Y ONDULATORIO MOLECULAR.

379. Mientras que una causa cualquiera exterior no conmueve las moléculas de los cuerpos agrupadas entre sí por efecto de la atraccion molecular, estas permanecen en un estado de equilibrio estable. Pero si son conmovidas de modo que no salgan de los límites de atraccion, entónces antes que vuelva á restablecerse el equilibrio, ejecutan movimientos á una y otra parte de su primitiva posicion, que toman el nombre de *vibraciones, oscilaciones* y *ondulaciones.* Se llama *vibracion* ú *oscilacion sencilla* el movimiento que solo comprende una *ida* ó una *vuelta* de las moléculas vibrantes, y *vibracion doble* ó *completa* la que consta de la *ida* y *vuelta.*

380. Las vibraciones pueden ser *trasversales, longitudinales* y *rotatorias.* Las primeras son las que se producen por un impulso en un sentido perpendicular á la primitiva posicion del cuerpo. Sujetando un muelle ó una tablita larga y estrecha por uno de sus estremos, y apartándolo por la otra de su posicion, al abandonarlo á sí mismo, toda la masa se verá ir á una y á otra parte de esta posicion, describiendo así todas sus moléculas arquitos perpendiculares á ella.

381. Las vibraciones longitudinales son las que se producen en el sentido mismo de la longitud del cuerpo, y se pueden observar suspendiendo un pesito de un hilo metálico fijo por la otra extremidad; levantando un poco el peso, y luego abandonándolo á sí mismo, se ve caer y levantarse repetidas veces.

382. Finalmente las vibraciones rotatorias son las que se producen al rededor de la posicion del cuerpo en forma circular. Así girando el peso que tira el alambre, este se tuerce, y abandonándolo luego á sí mismo, se destuerce para volverse á torcer y destorcer repetidas veces, girando de este modo las moléculas al rededor de la posicion primitiva del hilo.

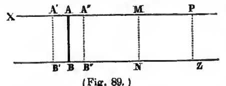
383. Los movimientos vibratorios que ha concebido una parte del cuerpo, se trasmiten sucesivamente á lo restante de su masa, como lo vemos sacudiendo en un punto una cuerda algo tirada, ó echando una piedra en un estanque de agua, que toda se conmueve, origi-

nándose de este modo lo que se llama *onda* ú *ondulacion.* Este movimiento se puede imaginar que se trasmita, como el que se produce en una serie de bolas elásticas iguales, que al chocar la primera con la inmediata, el movimiento pasa por todas ellas, quedando luego en reposo, si no son de nuevo conmovidas, porque en tal caso se repite otra vez el movimiento.

384. En las ondulaciones progresivas, se da el nombre de *onda* á la curva que trazan las moléculas por las cuales se trasmite el movimiento á una y otra parte de la posicion de equilibrio. Así (fig. 88) la curva *abcde* es la onda, que consta de dos semi-ondas *abc* y *cde*, la primera muestra su elevacion y la otra su depresion, cuyas alturas están medidas por las perpendiculares *bm* y *dn*; la longitud de la onda es la recta *ae.* Al llegar la onda á la extremidad del cuerpo, retrocede del mismo modo que si hubiese ido adelante, por lo que las diferentes partes de la onda de *retroceso*, tendrán una posicion enteramente opuesta á las de la onda directa, como lo indica la figura.

(Fig. 88.)

385. Para concebir como se propaga el movimiento vibratorio en los eeriformes, sea un tubo indefioido XZ (fig. 89) abierto por ambas extremidades y dentro una lámina AB, vibrando como un péndulo á una y á otra parte de su posicion; la velocidad de esta lámina será mioima en las posiciones A'B' y A''B'', y máxima en la posicion AB, por lo que yendo desde A'B' á A''B'', empujará sucesivamente con diferente fuerza al aire que encueotra. Si esteno fuese compresible, empujado por la lámina saldria del tubo en una cantidad ignal á A'A'', pero como es sumamente compresible, se condensa algo, y así el efecto de la presion de la lámina en el tiempo que va desde A' á A'', no es sensible sino hasta un cierto punto, por ej. MN, de modo que el primer impulso que recibió el aire estando la lámina en A'B', se halla trasladado únicamente al punto MN, y así los sucesivos impulsos trasmitidos al aire se hallan en los respectivos puntos intermedios entre M y A''; esta distancia toma el nombre de onda *aérea.*

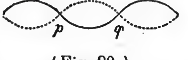


(Fig. 89.)

386. Si la lámina se quedase en la posicion A'' B'', en otro tiempo igual la onda A''M comunicerie sus respectivos impulsos á otra poreion iguel MP de aire, quedando la primera en reposo, y así sucesivamente; pero volviendo la lámina á la posicion A'B', deja detrás de sí una capacidad, que inmediatamente es ocupada por el aire, cuyo movimiento retrógado, no pudiéndose comunicar en un instante á toda la masa aérea del tubo, su efecto no es sensible sino hasta un cierto punto: y como la dilatacion del aire se produce en un tiempo igual á su condensacion, el efecto tiene el mismo límite, esto es, A'M y así, en una oscilacion entera de la lámina se producen dos ondas una condensada, y otra dilatada en sentidos opuestos, y juntas forman una *ondulacion.* Por tanto en una masa de aire ilimitada en todos sentidos, el movimiento ondulatorio, se propagará en todos sentidos hácia los diversos puntos del espacio dando origen á una *onda esférica*, ya condensada, ya dilatada.

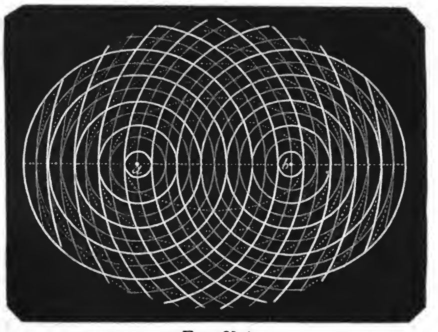
387. Cuando continua la causa, que ha producido la agitacion ondulatoria, se desarrolla en el cuerpo por donde se propaga, una serie de movimientos, á que se da el nombre de *sistema ondulatorio*. En los líquidos este movimiento se reconoce por círculos concéntricos, que van creciendo de radio, á medida que se alejan del centro de conmocion, en los cuales las moléculas líquidas, ya se elevan sobre el nivel primitivo, ya bajan. Aunque dichos círculos, se observan en la superficie del líquido, con todo el efecto del impulso, se hace sentir dentro de la masa líquida á bastante profundidad.

388. En un sistema ondulatorio las ondas directas encontrándose con las de retroceso, se cruzan en ciertos puntos *pq* (fig. 90), que se llaman *nodos ó puntos nodales*, en los cuales las moléculas quedan en reposo. Entre estos puntos el cuerpo queda agitado por mas ó menos tiempo, produciéndose lo que se llama *ondas estacionales*.



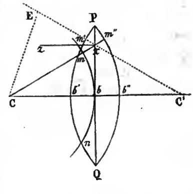
(Fig. 90.)

389. Cuando se agitan dos ó mas puntos de un cuerpo, resultan otros tantos sistemas de ondulacion, los cuales se propagan sin confundirse, como se observa, agitando dos puntos distintos de la superficie del agua en un estanque. Con todo se observan notables diferencias en el valor de la elevacion ó depresion de las olas, que mutuamente se cortan. Si los impulsos de los dos sistemas que se encuentran son en el mismo sentido, la elevacion ó depresion es doble; pero si son en sentido opuesto, estando las moléculas solicitadas á movimientos contrarios, quedan en reposo, cuyo efecto se reconoce con el nombre de *interferencia de las ondas*. La (figura 91) puede dar una idea de todos estos efectos. Siendo *a* y *b* los dos centros de conmocion, las líneas gruesas representarán la mayor elevacion de las ondas, y los puntos donde mútuamente se cruzan los dos sistemas, serán los de doble elevacion. Las líneas delgadas representan la máxima depresion, finalmente los puntos donde las líneas gruesas cortan las delgadas, representarán los puntos tranquilos, ó sea, la interferencia de las ondas.



(Fig. 91.)

390. Llegando las ondas directas de un sistema ondulatorio á chocar contra un obstáculo, se reflejan y retroceden con el mismo órden con que llegan al obstáculo, segun las leyes de los cuerpos elásticos (215) formando curvas invertidas que parecen tener su centro detrás del obstáculo y á igual distancia, de la del centro de conmocion. Sea PQ (fig. 92) una superficie plana y rígida, contra la cual van á chocar las ondas excitadas en el punto C; la onda *mbn*, sino encontrase al obstáculo, seguiria ensanchándose, tomando la forma concéntrica Pb''Q., pero llegando sus moléculas sucesivamente al obstáculo, retroceden unas despues de otras; y en la suposicion que no haya pérdida de velocidad, como sucede en los cuerpos elásticos, la molécula b, llegará al punto b' en el mismo tiempo que hubiera llegado al punto b'' y la molécula m despues del choque en x llegará á m' en el tiempo que hubiera llegado á m'', formándose además con la normal xz al obstáculo, los ángulos de incidencia cxz y de reflexion zxm' iguales, y lo mismo dígase de los demás puntos de la onda *mbn*. Siendo pues $bb'=bb''$, y $xm'=xm''$, será tambien Cb''=C'b', y Cm''=C'm', es decir, la onda $m'b'n'$ reflejada tendrá la misma magnitud, que si viniese de un punto C' colocado detrás del obstáculo, y á igual distancia de la del centro de conmocion, ó lo que es lo mismo, las ondas directas al retroceder, siguen ensanchándose como si no hubiesen encontrado el obstáculo.



(Fig. 92.)

391. Siendo propiedad de la *elipse*, que los ángulos formados en un punto por los radios vectores y la tangente sean iguales, si en un vaso de forma elíptica lleno de mercurio se dejan caer gotitas en uno de sus focos, se verá que las ondas que se desarrollan, irán á concentrarse en el otro foco. Así tambien si la experiencia se ejecuta en un vaso de forma parabólica, los movimientos ocasionados en el foco, se reflejarán en direcciones longitudinales y paralelas al eje de la parábola, y finalmente si el vaso termina por ambos extremos en figura parabólica, el movimiento ondulatorio producido en un foco, se verá concentrarse en el foco de la parábola opuesta.

LIBRO QUINTO.

ACÚSTICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA PRODUCCION Y CALIDADES DEL SONIDO.

392. La *Acústica* es el ramo de ciencias fisico-matemáticas que trata del sonido. La Acústica se distingue de la *música*, en que esta considera los sonidos con relacion á los sentimientos y pasiones, que puede excitar en nosotros, y aquella prescinde de esta relacion, examinando las propiedades del sonido en sí considerado.

393. El sonido consiste en el movimiento vibratorio, que toman las moléculas de los cuerpos á una y otra parte de su posicion natural. Acercando una punta de acero á una campana y haciéndola sonar, se ve la campana chocar contínuamente con la punta, mientras dura el sonido. Si se frota con un arco una cuerda algo larga y bien tirante, se vé oscilar á una y otra parte de su posicion, mientras suena. Echando polvos muy finos sobre una lámina, y frotando con un manojo de cerdas, dichos polvos se ven saltar con suma rapidez, mientras dura el sonido.

394. Solamente los cuerpos elásticos son susceptibles de producir el sonido, y no los demás, porque en estos el regreso de las moléculas á su natural posicion se hace muy lentamente. Así un cuerpo sonoro cubierto con una tela muy túpida, no produce sonido, ó si lo produce es muy sordo.

395. El sonido se distingue del ruido, en que en aquel las vibraciones son contínuas por un cierto tiempo y regulares, y en el ruido terminan repentinamente, como en la explosion de una arma de fuego. El oido califica de ruido, los sonidos sin órden y discordantes, como el estampido del cañon, el retumbo del trueno, el murmullo de las olas, el choque de la lluvia, etc.; pero en muchas circunstancias no es fácil discernir el sonido del ruido, dependiendo en gran parte de la organizacion mas ó menos perfecta del oido que lo recibe.

16

396. En el sonido hay que notar la intensidad, la agudeza y el timbre. La intensidad del sonido depende de la amplitud de las vibraciones, que hace el cuerpo sonoro, como puede observarse haciendo sonar una cuerda tirante, que á medida que sus oscilaciones son mas pequeñas, tambien el sonido es mas remiso.

397. La agudeza del sonido proviene del mayor ó menor número de vibraciones que se producen en un tiempo determinado, lo que se comprueba con la *rueda de Savart*. Este aparato consiste en una rueda dentada, cuyos dientes chocan contra un naipe. Comunicando á la rueda un movimiento lento, se perciben distintamente los choques sucesivos de los dientes; pero aumentando gradualmente la velocidad, se obtiene un sonido continuo siempre mas y mas agudo. En el eje de la rueda dentada hay un tope, que á cada giro empuja un diente de otra rueda dentada inmediata, delante de la cual hay un índice, que indica el número de dientes, que han pasado, y por consiguiente los giros que ha hecho la rueda principal: por lo que multiplicando este número por él de sus dientes, se conoce el número de choques, que ha sufrido el naipe. Con este procedimiento se determina el número de vibraciones necesario para cada sonido, girando la rueda con tal velocidad que el naipe lo reproduzca.

398. El mismo efecto se obtiene con otro aparato llamado *Sirena*, porque suena debajo del agua. Sobre una caja se adapta un disco que tiene por ej. 25 agujeros igualmente distantes entre sí y del centro atravesado por una varilla, en la cual está fijo otro disco con otros tantos agujeros igualmente dispuestos, pero de tal modo que los ejes de estos formen ángulo con los del disco inferior. Llenando la caja de aire por medio de un fuelle, al salir el aire por un agujero del disco inferior, choca oblicuamente contra el agujero del disco superior, y le imprime un movimiento taoto mas rápido, cuanto mayor es su velocidad. Cerrándose y abriéndose los agujeros 25 veces en cada giro, se producen en el aire otras tantas vibraciones, que determinan un sonido tanto mas agudo, cuanto mas rápido es el movimiento. Un tornillo sin fin que lleva la varilla, y en que engrana una ruedecita de 100 dientes, hace pasar un diente á cada giro del disco. Finalmente un tope fijo en el eje de esta rueda empuja uu diente de otra rueda inmediata, tambien de 100 dientes. Conociendo por medio de los índices, que se colocan junto á cada una de estas dos ruedas, el número total de vueltas que ha dado el disco superior, se puede hallar facilmente el número total de vibraciones que produce un sonido determinado. Tanto la rueda de Savart, como la Sirena dan el mismo sonido cuando hacen el mismo número de vibraciones. Lo mismo sucede llenando la caja con un gas ó líquido cualquiera. Lo que manifiesta, que un sonido determinado no depende sino del número de las vibraciones del cuerpo sonoro, y no de su naturaleza.

399. La tercera calidad que modifica el sonido es el timbre, por el cual lo distinguimos de otro igualmente intenso y agudo, en los diferentes instrumentos, como tambien en la voz humana en los diferentes individuos; segun la edad y el sexo. El timbre depende de la naturaleza del cuerpo sonoro, de su forma, y de su modo de vibrar.

400. Los límites de los sonidos perceptibles son muy dilatados, ni es fácil poderlos fijar de un modo cierto; pues dependen de la mayor ó menor sensibilidad del órgano del oido, y de la intensidad del mismo sonido, ó sea de la amplitud de sus oscilaciones. No obstante por medio de la rueda de Savart, se pueden percibir los sonidos graves producidos por 14, ó 16 oscilaciones sencillas en un segundo, como tambien los agudos que ejecutan 48,000 y mas vibraciones simples en el mismo tiempo.

CAPÍTULO II.

DE LAS VIBRACIONES DE LAS CUERDAS SONORAS, Y TEORÍA DE LA ESCALA MUSICAL.

401. ***El número de oscilaciones que hace una cuerda sonora en un determinado tiempo está en razon inversa de su longitud y de su radio, y en razon directa de la raiz cuadrada de su tension, y en la inversa de la raiz cuadrada de su densidad.*** Las oscilaciones de una cuerda se deben considerar como las oscilaciones de un péndulo, puesto que por su elasticidad la cuerda está obligada á oscilar á una y otra parte de su primitiva posicion de equilibrio: por lo que llamando l la longitud de la cuerda, e su elasticidad, y t el tiempo de una oscilacion, se tendrá $t=\pi\sqrt{\frac{l}{e}}$, pero la elasticidad de una cuerda es tanto mayor, cuanto mayor es su tension y menor su masa (35), luego llamando p á la tension ó peso que la tira, y m á la masa será $e=\frac{p}{m}$ y sustituyendo este valor en la ecuacion precedente, se tendrá $t=\pi\sqrt{\frac{lm}{p}}$: la masa de la cuerda es igual á la de un cilindro de su longitud y base, ó sea $m=vd=\pi r^2 l.d$ siendo d la densidad, luego $t=\pi\sqrt{\frac{\pi r^2 l^2 d}{p}}=\pi rl\sqrt{\frac{\pi d}{p}}$: llamando n el número de oscilaciones, que la cuerda hace en la unidad de tiempo, se tendrá $\frac{1}{n}=t$; luego $n=\frac{1}{\pi rl}\sqrt{\frac{p}{\pi d}}$. Para otra cuerda será $n'=\frac{1}{\pi r'l'}\sqrt{\frac{p'}{\pi d'}}$, de donde $n : n' :: \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{p}{d}} : \frac{1}{r'l'}\sqrt{\frac{p'}{d'}}$.

402. Por medio del *sonómetro* se pueden verificar los mismos resultados. Este aparato consiste en una caja vacía y sonora de un metro poco mas ó menos de longitud, en la que se disponen muchas cuerdas tiradas por pesos determinados, y que por medio de puentecitos móviles, pueden tener diferentes longitudes. Así se halla que una cuerda mitad, da un sonido de doble altura; y lo mismo sucede

con una cuerda cuyo diámetro sea la mitad del de otra; pero en dos cuerdas de igual longitud y diámetro, la una tirada con un peso cuádruplo de la otra, sus sonidos son como 2 : 1. Comparando luego los sonidos dados por el sonómetro con los de la rueda de Savart ó la Sirena, se obtiene la relacion con el número de las oscilaciones.

403. Sea 1 la longitud de una cuerda, cuando da un cierto sonido; se observa que reduciéndola en la forma siguiente:

$1, \frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}. \frac{3}{5}, \frac{8}{15}$ se obtienen los sonidos llamados *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, que forman la escala musical llamada *gama diatónica*. Si luego se toma la mitad de la cuerda, y se reduce en la misma proporcion, se obtiene la misma relacion en los nuevos sonidos, pero son el doble mas agudos; pudiéndose obtener así series de sonidos, siempre mas y mas agudos. Pero la longitud de las cuerdas está en razon inversa del número de oscilaciones, que hace un sonido determinado, luego se tendrán las series siguientes:

Notas.	*do*,	*re*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*,	*do*
Longitud. . . .	1,	$\frac{8}{9}$,	$\frac{4}{5}$,	$\frac{3}{4}$,	$\frac{2}{3}$,	$\frac{3}{5}$,	$\frac{8}{15}$,	$\frac{1}{2}$
Oscilaciones. . .	1,	$\frac{9}{8}$,	$\frac{5}{4}$,	$\frac{4}{3}$,	$\frac{3}{2}$,	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	2.

404. Para obtener el número absoluto de vibraciones, que corresponden á los números citados, bastará observar con la rueda de Savart ó la Sirena el número de vibraciones, que corresponden á la nota fundamental, de la cual se deducen las demás. En la música actualmente usada, la nota mas grave del contrabajo, que se toma por *do*, corresponde á 128 vibraciones sencillas por segundo; así pues se tendrá subnotando las series sucesivas con los números 1, 2, 3,...

do_1	re_1	mi_1	fa_1	sol_1	la_1	si_1
1×128,	$\frac{9}{8}\times128$,	$\frac{5}{4}\times128$,	$\frac{4}{3}\times128$,	$\frac{3}{2}\times128$,	$\frac{5}{3}\times128$,	$\frac{15}{8}\times128$,
128,	144,	160,	170,	192,	214,	240.

Los números de vibraciones para las gamas superiores se obtienen multiplicando por 2, 4,.... los números de esta gama fundamental, y los de las gamas inferiores, dividiendo por 2, 4,.... los mismos números. Así el la_3 será 214×4=856. En los pianos ordinarios la nota mas grave és fa_0=85. El sonido mas profundo del órgano es do—1=32, vibraciones sencillas y se obtienen con un tubo de 5,2 metros, cerrado por una extremidad.

405. Llámase *intérvalo* el aumento que se requiere para pasar de un sonido determinado á otro. Así se llama intérvalo de *segunda*, de *tercera*, de *cuarta*, de *quinta*, de *sexta*, de *séptima*, de *octava* á los diferentes intérvalos contados desde *do* á las siguientes notas. Los intérvalos iguales toman el mismo nombre, cualquiera que sea la nota á que

se refieren. Así de sol_1, á sol_2, se llama *octava*, lo mismo que de do_1, á do_2. Hé aquí los intérvalos sucesivos:

	do	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
Vibraciones. . . .	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Intérvalos.		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

El intérvalo $\frac{9}{8}$ se llama *tono mayor*; $\frac{10}{9}$ que es inferior se dice *tono menor*, y $\frac{16}{15}$ cantidad mucho mas pequeña, se llama *semitono mayor*. La diferencia del tono mayor al menor es $\frac{9}{8}:\frac{10}{9}=\frac{81}{80}$ y se llama *coma*. Se da el nombre de *tercera mayor*, á los intérvalos iguales de *do* á *mi*, de *fa* á *la*, de *sol* á *si*, porque todos tres equivalen á $\frac{5}{4}$. Los intérvalos de *mi* á *sol* y de *la* á *do*, que equivalen á $\frac{6}{5}$ cantidad menor que $\frac{5}{4}$, toman el nombre de *tercera menor*. Finalmente la cantidad $\frac{5}{4}:\frac{6}{5}=\frac{25}{24}$, se llama *semitono menor*, porque es algo menor que $\frac{16}{15}$, ó sea el semitono mayor.

406. Si en lugar de *do* se toma, como punto de partida, otra cualquiera nota, no existiendo el mismo intérvalo entre dos notas consecutivas, no se obtendrá una seris de sonidos correspondiente; y no obstante es absolutamente necesario, poder comenzar la escala por un sonido mas ó menos agudo, mas ó menos grave, lo que se llama *trasportar*; esto se obtiene por medio de los *diesis ó sostenidos*, que se indican con el signo ♯, y de los bemoles expresados por el signo ♭. Sostener una nota, es subir su sonido en la relacion de 1 á $\frac{25}{24}$, ó sea de un semitono menor, y *bemolizarla* es bajarla en la misma razon. Tómese pues una nota cualquiera por fundamental ó *tónica*, por ej. el *la*, y se formará la nueva escala, multiplicando los valores de la escala de *do* por $\frac{5}{3}$ que es el valor del *la*

	la,	*si,*	*do,*	*re,*	*mi,*	*fa,*	*sol,*	*la;*	
1	$\frac{5}{3}$,	$\frac{9}{8}\times\frac{5}{3}$,	$\frac{5}{4}\times\frac{5}{3}$,	$\frac{4}{3}\times\frac{5}{3}$,	$\frac{3}{2}\times\frac{5}{3}$,	$\frac{5}{3}\times\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}\times\frac{5}{3}$,	$2\times\frac{5}{3}$;	y resulta
	$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	$\frac{25}{12}$,	$\frac{20}{9}$,	$\frac{5}{2}$,	$\frac{25}{9}$,	$\frac{25}{8}$,	$\frac{10}{3}$;	

pero esta escala, no concordando con la de *do*, produciria grandísimas disonancias, mas concordará diesendo el *do*, *fa*, *sol*

$\frac{5}{3}$,	$\frac{15}{8}$,	$2\times\frac{25}{24}=\frac{25}{12}$,	$\frac{9}{4}$,	$\frac{5}{2}$,	$\frac{8}{3}\times\frac{25}{24}=\frac{25}{9}$,	$3\times\frac{25}{24}=\frac{25}{8}$,	$\frac{10}{3}$;
la,	*si,*	do_2♯	re_2	mi_2	fa_2♯	*sol*♯	*la*

Solamente $\frac{9}{4}$ se diferencia de su correspondiente $\frac{20}{9}$ de una coma, ó sea. de $\frac{81}{80}$ que por ser cantidad casi imperceptible, se desprecia, tomándose así $\frac{9}{4}=\frac{20}{9}$; pero en realidad la escala se altera de una coma; las demás escalas ofrecen semejantes alteraciones. El oido que aprecia semejante alteracion obliga á la voz á corregirla, reemplazando con su flexibilidad la verdadera nota. Igual correccion se hace en todos los instrumentos, en que se puede modificar la longitud de las cuerdas, y por consiguiente el número de sus vibraciones; pero no es así en los instrumentos de sonidos fijos, como el piano, el órgano y otros, los cuales por consiguiente producirian fuertes disonancias.

407. Para corregir ests defecto se usa del método llamado *temperamento igual*, y consiste en dividir la gama diatónica ó natural en doce intérvalos iguales. El intérvalo que sirvo de unidad, tomado 12 veces como factor, debe dar 2 ó la octava, y así será $x^{12}=2$, de donde $x=1.059$, cantidad que se diferencia muy poco del semitono mayor $\frac{16}{15}=1,056$, y menos aun de la media entre los semitonos mayor y menor, que es 1,054; por lo que se llama simplemente *semitono*: la *escala templada* consta pues de doce semitonos iguales ó intérvalos sucesivos, que tienen casi el mismo valor que en la escala natural, y son:

do,	*do*♯,	*re*,	*re*♯,	*mi*,	*fa*,	*fa*♯,	*sol*,	*sol*♯,	*la*,	*la*♯,	*si*,	*do*,
1,	1,059,	1,122,	1,189,	1,259,	1,335,	1,414,	1,498,	1,587,	1,682,	1,782,	1,888,	2.

Los instrumentos de cuerda no necesitan emplear el temperamento, cuando tocan solos, ó acompañan la voz humana; pero lo deben emplear cuando acompañan á los instrumentos de sonidos fijos.

408. Se llaman *nodos* ciertos puntos de una cuerda vibrante, que no vibran, y vientres las partes intermedias. Se conoce su existencia, poniendo en diferentes puntos de la cuerda puentecitos do papel, que caen eu unas partes, y se conservan en otras, pasando un arco por encima de la cuerda, al mismo tiempo que se produce el sonido. Los sonidos obtenidos por 0, 1, 2, 3,.... nodos son como 1, 2, 3, 4,.... Una cuerda fija por sus extremos, da un sonido de una cierta altura; pero si se coloca un puentecito móvil debajo de ella, que la divida en dos partes iguales, da la octava; cada parte vibra separadamente, y las dos producen un mismo sonido. Si el puentecito se coloca á una tercera parte de la cuerda, se produce un sonido, que es como el que produce una cuerda igual á esta tercera parte; y además la cuerda queda dividida en tres partes iguales, que vibran igualmeute, lo que se conoce por la existencia de un nodo á cada tercera parte.

409. Cuando una cuerda da un sonido grave y bastante intenso, se oye tambien su doble quinta y su triple tercera, y tambien aunque mas dificilmente, su octava y su doble octava. Luego llamando *do* al sonido fundamental, se oirán simultáneamente do_1, do_2 sol_2 do_3 mi_3, cuyos números de vibraciones son entre sí, como 1, 2, 3, 4, 5,: probablemente la cuerda da los sonidos representados por 6, 7, 8,... pero no son perceptibles por su debilidad. Esta serie de sonidos toma el nombre de *sonidos armoniosos*. Este fenómeno se explica admitiendo, que la cuerda se divide en muchas partes desiguales, de tal manera que el número de vibraciones sea el mismo para cada una de estas divisiones, y diferente en las diferentes maneras de division, por lo que los sonidos diferentes resultan de las diferentes divisiones, las cuales producen diferente número de vibraciones.

410. Se llama *melodía*, una serie de sonidos que produce una sensacion agradable al oido. *Acorde* es la coexistencia de muchos sonidos, que producen una impresion agradable: disonaucia es cuando los sonidos simultáneos producen una sensacion desagradable. El acorde mas sencillo es el *unísono*, luego la octava, la quinta, las terceras mayor y menor, la cuarta y la sexta. La sëgunda y la séptima producen disouancia. El acorde perfecto resulta de tres sonidos simultáneos cuyo número de oscilaciones está en una razon muy sen-

cilla, como *do*, *mi*, *sol*, *do*; ó bien *sol*, *si*, *re*, *sol*, cuyos números son como 4, 5, 6, 8; ó bien *do fa la do*, que son como 3, 4, 5, 6. Estos acordes son los que producen la sensacion mas agradable al oido.

411. Cuando dos sonidos no son unísonos, se oye á intérvalos iguales un refuerzo en el sonido denominado *pulsacion*, debido á la interferencia de los dos sistemas de vibracion que producen los dos sonidos. Las pulsaciones son tanto mas rápidas, cuanto las coincidencias de las vibraciones tienen lugar en intérvalos sensibles mas cortos; pero si dichas coincidencias suceden con gran rapidez, se produce un sonido contínuo llamado *resultante*, que en general es mucho mas grave que los que lo originan. Así los tubos sonoros abiertos que dan la cuarta, dejan oir un tercer sonido que es la doble octava grave del mas agudo, como puede observarse tocando simultáneamente por ejemplo el *sol*, y el *do* superior, pues mientras el sonido inferior hace tres oscilaciones, el otro hace cuatro, con cuyos números habiendo una vibracion resultante, se producirá necesariamente la doble octava grav del mas agudo.

CAPÍTULO III.

DE LAS VIBRACIONES DE LOS CUERPOS RÍGIDOS.

412. Vibrando las varillas y las láminas estrechas, por razon de su elasticidad dan orígen á sonidos mas ó menos agudos. Las vibraciones de las varillas pueden ser transversales, ó longitudinales: las primeras se producen, fijando el cuerpo por un extremo, y frotando la parte libre con un arco; las segundas se originan frotando el cuerpo en el sentido de su longitud con un paño mojado, ó polvoreado con resina. En las láminas se entiende por espesor la seccion paralela al plano, segun el cual se produce la vibracion.

413. En las varillas de la misma naturaleza el número de vibraciones transversales está en razon directa de su espesor, é inversa del cuadrado de su longitud; pero el número de las vibraciones longitudinales, está en razon inversa de su longitud cualquiera que sea su diámetro y seccion transversal: lo que se demuestra plantando en un zócalo de madera, varillas de determinado diámetro y longitud, que se hacen vibrar del modo dicho.

414. Se utilizan las vibraciones de las varillas en el *diapason*, que es una varilla de metal encorvada cuyas ramas se estrechan hácia sus estremos (fig. 93); se hacen vibrar estas ramas haciendo pasar por entre ellas un cilindro de metal ó de madera de un diámetro algo mayor, que la distancia que separa sus extremidades. Como la varilla siempre vibra del mismo modo, su sonido es siempre el mismo, y así sirve el dia-

(F. 93.)

pason para arreglar el tono de los instrumentos músicos (a).

415. En las varillas se pueden producir nodos, cuya existencia se manifiesta, poniendo la varilla horizontal, y metiendo por ella anillos pequeños de papel, que se ven saltar en las partes vibrantes, recogiéndose todos en los nodos.

416. Las láminas de metal, de vidrio, de madera, ó de otra sustancia homogénea y elástica, se hacen vibrar fijándolas por su centro, y frotando sus bordes con un arco; ó bien sosteniéndolas por el borde, y pasando por su centro agujereado una cuerda con que se frota, tirándola de una parte á otra con las manos. Una misma placa puede dar diferentes sonidos, segun la posicion del punto fijo, del punto que se frota, y del grado de presion que se ejerce sobre ella.

417. Las planchas vibrando, se dividen en cierto número de partes iguales, dejando entre sí líneas de puntos, que no vibran, lo que se observa polvoreando la superficie con arenilla muy fina, ó con flores de azufre, ó con otros polvos semejantes. La posicion de estas líneas llamadas *nodales*, su número y las figuras que forman, varian segun la forma de la misma plancha, y el modo de frotarla. Una placa cuadrada puede presentar líneas nodales en diagonal, rectangulares, paralelas, cruzadas, diagonales con rectangulares, segun el sonido que produzca. En las placas circulares, se obtienen líneas diametrales, circulares, circulares atravesadas por diámetros, etc.

418. La experiencia enseña; 1.°, que un mismo sonido da orígen siempre á una misma figura nodal; pero variando el sonido varia tambien la figura. 2.° La figura nodal mas sencilla corresponde al sonido mas grave, que puede producirse en la placa.

CAPÍTULO IV.

DE LAS VIBRACIONES DEL AIRE EN LOS TUBOS SONOROS.

419. Como se indicó en el número 394 el aire y todos los demás fluidos pueden entrar en vibracion, y producir sonidos mas ó menos agudos. Vibra el aire por varias causas por ej. por un choque, una explosion, en el paso por la inmediacion de un cuerpo, ó por una hendidura con velocidad, y siempre resulta un sonido, ó ruido, ó silbido. Si al pasar por una hendidura estrecha, obliga á un cuerpo delgado á vibrar con él, el sonido se hace mas intenso y duro.

420. Soplando naturalmente en un tubo no se produce sonido,

(a) Un decreto imperial del gobierno de Francia dado en 16 de febrero de 1859, ordena la adopcion de un diapason normal, cuyo *la* para el acuerdo de los instrumentos queda fijo al sonido, que corresponde á 870 vibraciones por segundo.

porque el aire lleva entonces un movimiento progresivo, y no vibratorio. Para que vibre, ha de pasar por laminitas rígidas delgadas y susceptibles de vibrar, ó que se rompa contra un batiente en declive, ó que los labios, cerrándose mas ó menos, le pongan en vibracion. Los tubos pueden ser rectos ó curvos, lo que no altera el sonido, porque el aire es igualmente elástico en todos sentidos.

421. Los tubos sonoros, como los de los órganos, son generalmente cilíndricos ó prismáticos, y constan del tubo propiamente dicho, donde el aire se pone en vibracion, y de la embocadura. El aire entra por el pié del tubo y encuentra una rendija, contra cuyo borde ó labio superior, cortado al sesgo choca oblicuamente rompiéndose. El aire interior del tubo rechazado por la presion que ha sufrido, vuelve por su elasticidad á su posicion primitiva, y así toma un movimiento rápido oscilatorio, que da orígen al sonido.

422. Si á un tubo abierto y de igual diámetro, se le da viento con mas ó menos fuerza, se le podrá hacer dar diferentes sonidos, y representando por 1 el mas grave y fundamental, los demás seguirán la serie 1, 2, 3, 4, etc., sin que sea posible hacerle dar otros sonidos intermedios. Todos los tubos cilíndricos ó prismáticos de la misma longitud y de una materia convenientemente rígida, dan el mismo sonido fundamental, y la misma serie de sonidos, con tal que su longitud sea 10 ó 12 veces mayor que su diámetro.

423. Cuando el tubo da el sonido 2, puede cortarse por mitad y quitarse la parte superior sin variar el sonido; del mismo modo dando el sonido 3, se puede quitar el tercio superior, y tambien los dos tercios superiores, etc. Por consiguiente cuando da el sonido 2, hay un vientre en la mitad del tubo, ó sea, una capa de aire que durante la vibracion sonora, ni se condensa, ni se dilata, porque si su densidad variase, variaria tambien el sonido, quitando la mitad superior del tubo. Para el sonido 3, hay dos vientres intermedios en el primero y segundo tercio del tubo, porque las aberturas hechas en estos puntos, no alteran el sonido.

424. De estas experiencias debidas á Daniel Bernouilli se concluye que la onda sonora correspondiente al sonido fundamental, tiene la misma longitud del tubo, que la que corresponde al sonido 2 tiene la mitad, la del sonido 3 un tercio, etc., porque las dos extremidades de un tubo abierto son esencialmente dos vientres, donde la capa de aire, comunicando con el aire exterior, no puede ser ni condensada, ni dilatada, y el espacio comprendido entre dos vientres, forma la longitud de la onda; entre dos vientres consecutivos, hay siempre un nodo, ó sea una superficie inmóvil, donde las dos velocidades iguales y opuestas se destruyen, lo que puede observarse por medio de un tubo de vidrio de dos ó tres centímetros, en el cual se introduce con una hebra de seda, un arito ligero, en que se ha estirado una mem-

branita de vejiga cubierta de arenilla fina, la cual salta con mayor ó menor fuerza escepto en la superficie nodal.

425. Cuando se hace sonar un tubo cerrado por su extremidad, llamando 1 al sonido mas grave y fundamental, los sonidos siguientes que da, aumentando la fuerza de la corriente de aire, siguen la serie 1, 3, 5, 7, etc., sin que sea posible hacerle dar otros sonidos intermedios. Además el sonido 1 es la octava inferior del fundamental, que da el tubo de igual longitud abierto por ambos cabos.

426. Como la onda sonora que corresponde al sonido fundamental del tubo abierto, es igual á la longitud del mismo tubo (424), se sigue que la onda correspondiente al sonido fundamental del tubo cerrado tiene una longitud doble; por lo que siendo siempre la embocadura un vientre, el fondo cerrado del tubo será un nodo, ó una superficie, donde reflejándose la onda, determinará su segunda mitad. Con lo que se comprende, porque el sonido inmediato es 3, pues dividido el tubo en tres partes iguales, las dos primeras juntas se podrán considerar como un tubo abierto que da el sonido de la otra tercera parte cerrada, la cual debe dar un sonido tres veces mas agudo.

427. Resulta pues que en los tubos cerrados para el sonido fundamental hay un vientre en la embocadura, y un nodo en el fondo cerrado; para el sonido inmediato 3, hay dos vientres, el uno en la embocadura y el otro á sus dos tercios, y dos nodos, el primero á un tercio de la embocadura, y el segundo en el fondo cerrado: para el sonido 5 hay tres vientres, el uno en la embocadura y los otros á $\frac{2}{5}$ y $\frac{4}{5}$ de la misma, y tres nodos á $\frac{1}{5}$, $\frac{3}{5}$ y $\frac{5}{5}$. La existencia de esos vientres puede verificarse, practicando aberturas en los puntos correspondientes, que no alteran el sonido.

428. Por tanto estando la longitud del tubo en razon inversa del número de vibraciones, para formar la escala diatónica, bastará tomar 8 tubos abiertos ó cerrados cuyas longitudes estén en la relacion 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{4}{5}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{8}{15}$, $\frac{1}{2}$. Con todo en la práctica esta relacion no es enteramente exacta, si no se tiene cuenta de la posicion de la embocadura. Segun las recientes experiencias de M. Cavaille-Coll, la longitud del tubo debe ser igual á la longitud de la onda del sonido, que puede dar, disminuida del doble de la distancia de la línea de la embocadura á la pared interior opuesta. De modo que siendo l la longitud del tubo, v la velocidad del sonido, n el número de vibraciones que debe hacer, y d la distancia de la embocadura á la pared opuesta, se tendrá la fórmula $l=\frac{v}{n}-2d$. En un tubo cilíndrico, el término medio de todas las perpendiculares tiradas desde la cuerda de la embocadura al arco opuesto, puede tomarse como próximamente

igual á $\frac{5}{6}$ del diámetro del tubo, y así la fórmula superior para los tubos cilíndricos será $l=\frac{r}{n}-\frac{5d}{3}$, siendo d, el diámetro del tubo.

429. Llámase *boquilla* una lámina vibrante, puesta en movimiento por una corriente de aire. Supongamos una lámina metálica, que tiene una hendidura de tres ó cuatro centímetros de largo y 6 ú 8 milímetros de ancho, á uno de cuyos lados menores esté soldada una laminita fina metálica muy elástica, que pueda vibrar: se tendrá una boquilla que puesta en movimiento por el aire, cerrará la abertura, y por su elasticidad inmediatamente la abrirá, con lo que se producirán ondas sonoras, cuya longitud dependerá del número de oscilaciones, que hará dicha laminita vibrante.

430. En los órganos se hace uso de este instrumento del modo siguiente. Un tubo cerrado por una extremidad, tiene una hendidura lateral, que se llama *regata* cubierta con la laminita vibrante descrita llamada *lengueta*, la cual puede apretarse mas ó menos por medio de un alambre encorvado: el todo se ajusta dentro de otro tubo mayor por medio de un tapon atravesado únicamente por el alambre que aprieta á la laminita. El viento de los fuelles entra por el pié de este tubo mayor; oprime á la laminita vibrante para abrirse paso por la hendidura, y sale por la extremidad del tubo menor. La buena construccion de los tubos, da al sonido un timbre y una intensidad notables. Este sonido puede variar de mil maneras segun la disposicion que se dé á cada una de las partes de este instrumento, hasta imitar los sonidos de las vocales articuladas por la voz humana. El fagote, el oboe, el clarinete y otros pertenecen á esta clase de instrumentos, en los cuales la presion de los labios produce el efecto del resorte.

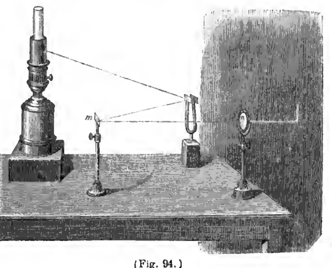
431. A los instrumentos mencionados puede referirse el órgano de la voz humana, el cual consta de la *traquea* que es un tubo elástico, que sirve para conducir el aire desde el interior del pecho, á la boca: la extremidad superior de la traquea llamada *laringe* termina en la parte posterior de la boca con dos membranas semicirculares, que contrayéndose mas ó menos, obligan al aire á ponerse en vibracion, cuando sale. La cavidad de la boca, la lengua, el paladar, el interior de la nariz, los dientes y los labios, si bien no son esenciales á la formacion de la voz, con todo ejercen una notabilísima influencia en la articulacion de los sonidos y en su timbre.

CAPÍTULO V.

MÉTODOS GRÁFICOS PARA APRECIAR LOS SONIDOS.

432. Si bien las vibraciones que ejecutan los cuerpos sonoros se hacen visibles por medio de los saltos, que hace la arena fina con que

se polvorean dichos cuerpos, lejos están estos movimientos de representar con exactitud los movimientos vibratorios de los mismos cuerpos sonoros. M. Lissajous ha inventado un nuevo método que revela no pocas propiedades de estos movimientos vibratorios, y consiste en observar el movimiento de un rayo de luz reflejado por un espejo fijo en un cuerpo sonoro. Fíjese en la extremidad de una de las dos ramas de un diapason un espejito, sobre el cual se hace caer un rayo de luz de un quinqué, y mejor de una lámpara foto-eléctrica, que se cubre con una chimenea opaca agujereada de modo, que deje pasar un rayo luminoso: colocado el ojo en la direccion del rayo reflejado, al vibrar el diapason, se ve prolongar la imágen del punto luminoso en el sentido de la longitud de sus ramas de un modo permanente, y disminuir á medida que el sonido se hace mas remiso. Para que el diapason vibre con regularidad, es necesario poner un contrapeso conveniente en la otra rama.



(Fig. 94.)

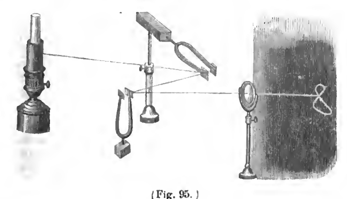
433. Si en vez de recibirse el rayo reflejado en el ojo, se quisiese proyectar sobre una pantalla, el esperimento se dispondria como lo indica la fig. 94, esto es, recibiendo el rayo reflejado en un segundo espejo *m*, y haciéndolo pasar luego por una lente acromática *n*, en cuyo foco se colocaria la pantalla.

434. Estos experimentos adquieren un nuevo interés, recibiéndose el rayo reflejado de un diapason sobre un segundo diapason, que podrá colocarse paralelamente al primero, ó bien en una direccion rectangular. En el primer caso si los diapasones están exactamente

acordes, se produce simplemente una línea, que va disminuyendo de longitud, segun que disminuye la amplitud de las vibraciones; pero si el acorde no es perfecto, la longitud de la imágen varia periódicamente, observándose el máximo efecto periódico, cuando el sonido está en su mayor fuerza, y el mínimo, cuando está en su mínima fuerza periódica.

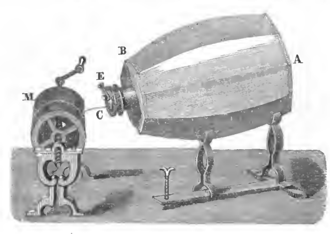
435. Si los diapasones tienen entre sí una posicion rectangular (fig. 95), los dos movimientos combinándose producen una imágen curvilínea mas ó menos complicada, cuya forma depende de la relacion de las vibraciones ejecutadas en el mismo tiempo por ambos diapasones.

436. Recientemente M. Leon Scott ha inventado un aparato que ha denominado *fonotógrafo,* por medio del cual quedan como grabados los movimientos vibratorios de los cuerpos sonoros. Este aparato que presenta mucha analogía con la disposicion del órgano del oido, consta de un elipsoide hueco AB (fig. 96) de unos 5 decímetros de longitud sobre 3 de ancho en su mayor diámetro, cuyo objeto es concentrar y dirigir las ondas sonoras, que penetran por la extremidad A abierta: en el otro extremo B se adapta un anillo, en que se sujeta una membrana muy delgada, que por medio de otro anillo se puede poner mas ó menos tensa: cerca del centro se fija con lacre en la membrana un alambrito C muy fino, y con una pieza móvil E, que lleva el anillo, se hace que el alambre corresponda siempre á un vientre de vibracion, para que pueda recibir bien los movimientos de la membrana. En contacto con el alambre se halla un cilindro M, cuyo eje en forma de tornillo, sostenido por una tuerca fija, adelanta cuando gira: la superficie del cilindro se cubre con un papel, que ha recibido una ligera capa de humo de pez. Girando pues el cilindro, la punta del alambre traza en el papel una simple hélice, mientras la membrana



(Fig. 95.)

no vibra, pero al producir un sonido delante de la abertura A del elipsoide, vibra al unison la membrana, y el alambre marca una línea ondulosa con regularidad, registrándose de este modo automáticamente el número, la amplitud y el isocronismo de las oscilaciones recibidas por la membrana segun la calidad de los sonidos, que las han originado.



(Fig. 96.)

437. Trazada la curva, M. Scott moja el papel, primero en un baño de alcohol puro, y luego que está seco, lo pasa por una disolucion alcohólica de sandaraca, con lo que queda fijo el humo de pez.

CAPÍTULO VI.

DE LA PROPAGACION DEL SONIDO.

438. El aire es el vehículo ordinario del sonido, pues si se interpone un vacío entre el cuerpo sonoro y el oido, nada se oye: lo que se puede observar suspendiendo de un hilo de seda una campanilla dentro de un vaso, y haciendo el vacío en él con la máquina neumática, por mas que se agite la campana, no se oye sonido alguno, hasta que no vuelve á entrar el aire. Si en vez del aire se introduce otro cualquier gas ó vapor, el sonido se oye inmediatamente, luego todos los gases y vapores propagan el sonido.

439. Los líquidos conducen tambien el sonido. Si un nadador dentro del agua toca una campana, su sonido se oye muy bien desde las orillas. Así tambien desde el fondo de las aguas se oyen bien los sonidos producidos en las riberas. La facultad que tienen los líquidos de trasmitir los sonidos, segun muestra la experiencia, está en razon de su densidad.

440. Finalmente los sólidos conducen mejor aun el sonido, que los líquidos y los aeriformes. Así aplicando el oido á la extremidad de una biga, se percibe muy bien el sonido, que se produce golpeando la otra extremidad con la punta de un alfiler, ó frotándola con las barbas de una pluma. Así tambien se distinguen las palabras que se pronuncian con voz baja. Los sólidos homogéneos y elásticos, conducen bien el sonido en todos sentidos, pero los que tienen fibras, lo conducen bien en el sentido de estas, y muy mal en el sentido trasversal.

441. La experiencia cotidiana nos enseña, que los sonidos producidos por diferentes instrumentos músicos, se trasmiten á todas las distancias sin la menor confusion. Sin embargo si los movimientos que producen los sonidos son demasiado violentos, al llegar á un cierto límite se confunden, y no resultan sino sonidos vagos.

442. El aire puesto en vibracion ó directamente, ó por la influencia de un cuerpo sólido, puede comunicar sus vibraciones á los cuerpos que están en contacto con él. Si se hace vibrar una cuerda cerca de otra de la misma especie y de igual diámetro y tension, esta se pondrá tambien en vibracion, y producirá un sonido como aquella. Fácilmente se pueden observar las vibraciones de una membrana estirada sobre un marco de madera y polvoreada con arenilla, cuando se produce un sonido á una pequeña distancia, que la divide en muchas partes vibrantes, que se reconocen por la inspeccion de las líneas nodales, las cuales varian, variando la naturaleza del sonido. Por esta misma razon se ponen en vibracion las vidrieras de un edificio por el sonido de una campana cercana, etc.

CAPÍTULO VII.

DE LA INTENSIDAD DEL SONIDO PROPAGADO.

443. El sonido se propaga con mas intensidad por un sólido, que por un aeriforme, pues aplicando el oido á la extremidad de un puente de hierro, cuando se golpea el otro extremo, se oyen dos sonidos, el primero y mas intenso por el metal, el segundo mas débil por el aire. Así es que á distancias considerables aplicando el oido al terreno, se oyen las pisadas de un ejército, el ruido de los que abren una mina, etc.

444. *La intensidad del sonido en el aire libre está en razon inversa del cuadrado de las distancias al centro de comocion.* En efecto desarrollándose el sonido en el aire libre en forma esférica, una capa esférica recibirá un impulso tanto menor, cuanto el movimiento debe comunicarse al mayor número de sus moléculas; pero las superficies esféricas son como los cuadrados de los radios respectivos, luego el

movimiento comunicado, ó sea la intensidad de la onda, decrecerá en la misma razon, ó sea estará en razon inversa del cuadrado de los mismos radios, que son las distancias del punto vibrante.

445. Cuando la masa de aire está limitada lateralmente, como en un tubo, el sonido se propaga casi con la misma intensidad, con que se produce; porque en vez de extenderse en forma esférica, se trasmite simplemente en una sola direccion. Así M. Biot pudo sostener una conversacion á la distancia de 951 metros por medio de un tubo. En este principio se funda la construccion de la *bocina,* que es un tubo de dos ó tres metros de longitud, terminado en un extremo por una boca ancha; se aplican los labios á la otra extremidad, articulando bien las palabras: de este modo la distribucion de la fuerza impulsiva estando limitada por las paredes del tubo, el aire que contiene es fuertemente conmovido. La *corneta acústica* es una pequeña bocina invertida, por lo comun de figura cónica, y su objeto es concentrar las ondulaciones sonoras: su extremidad mas estrecha es la que se aplica al oido.

446. Varias otras causas influyen tambien en la mayor ó menor intensidad del sonido: tales son 1.ª: la densidad del aire, como puede verificarse introduciendo en la campana de la máquina neumática un resorte de reloj. Por esta razon disminuye notablemente el sonido, elevándonos en la atmósfera. Se ha observado que la intensidad del sonido depende de la densidad del aire del lugar en que se produce: así en una altura se oye bien el sonido que viene del valle inferior; pero en el valle se oye muy mal el sonido producido en la altura. 2.ª La elasticidad producida por el aumento de temperatura, la cual obra como la densidad. 3.ª El viento en la misma direccion del sonido aumenta su intensidad, y en contraria direccion la disminuye. 4.ª La cercanía de un cuerpo capaz de vibrar al unison con el que suena. Así se refuerza el sonido en los instrumentos de cuerdas, y él del diapason, colocándolos sobre una caja, ó poniendo encima un tubo de madera ó de carton de conveniente longitud.

447. ¿Porqué de noche se oye mejor el sonido que de dia? Cada sonido, por ligero que sea, produce en el aire un sistema de ondas; pero si un sistema en su movimiento coincide perfectamente con otro, crece su efecto, y si los dos sistemas de ondulacion no coinciden en sus movimientos, se destruirán mas ó menos segun su mayor ó menor oposicion. En tanta multitud de sistemas que se producen durante el dia, casi á cada momento, muchas ondas cruzándose se hallarán ya en coincidencia, ya en mayor ó menor oposicion, por lo que muchísimos puntos del aire deberán tomar, ya una direccion, ya la opuesta, destruyéndose mútuamente sus movimientos, y así no es estraño que no se perciban los sonidos con toda la posible intensidad. Pero de noche estando el aire muy poco agitado, es mas apto para conservar los movimientos recibidos y propagarlos en el sentido que los ha recibido. Por lo demás la experiencia nos enseña, que los sonidos mas intensos absorben á los mas débiles, y en este efecto aquellos no sufrirán la reaccion de estos segun los principios de mecánica? luego tambien ellos son en parte absorbidos ó destruidos por los débiles.

CAPÍTULO VIII.

DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO.

448. Siendo sucesivas las vibraciones del medio, por él que se propaga el sonido, es evidente que este empleará un cierto tiempo en su propagacion, como lo confirma la experiencia, pues disparándose una arma de fuego, tanto mas tarda en oirse el sonido, despues que se vió el fuego, cuanto mayor es su distancia.

449. En igualdad de circunstancias percibiéndose el sonido de un cañonazo por ej. á distancias, que crecen en progresion aritmética, crece tambien en la misma proporcion el tiempo que pasa en oirse, despues de visto el fuego, de lo que se sigue que el sonido se propaga uniformemente, y así se podrá deducir la distancia entre dos lugares, conociendo la velocidad del sonido en un segundo de tiempo. Muchisimos experimentos se han practicado á este efecto. Elíjanse dos puntos bastante separados en paraje llano, cuya distancia pueda ser medida exactamente; colocando en cada estacion un cañon, y observando con un cronómetro el tiempo trascurrido entre la aparicion de la luz y el sonido, se obtendrá su velocidad, dividiendo la distancia conocida, por el tiempo pasado. Así se ha hallado que á la temperatura de 15° la velocidad es de 340 metros por segundo próximamente.

450. Esta velocidad es sensiblemente la misma en tiempo sereno y nublado, con tal que el aire esté en reposo, pues el viento favorable la acelera, y el contrario la retarda, de modo que segun los experimentos de Derham, á una distancia de unas 13 millas la diferencia de tiempo entre ambas circunstancias era de 5″,5. Así tambien crece esta velocidad con la temperatura, habiéndose hallado que á 10° era de 337 metros, y á cero de solos 333. Pero á una misma temperatura es independiente de la densidad del aire, y por consiguiente de la presion atmosférica. Así tambien los sonidos fuertes ó débiles, graves ó agudos, en igualdad de circunstancias, se propagan con la misma velocidad, pues oimos la consonancia de muchos instrumentos de un concierto ejecutado á grandes distancias.

451. En los diferentes gases la velocidad del sonido es diferente, aunque permanezca constante su temperatura. Haciendo sonar un tubo de órgano con diferentes gases Dulong obtuvo las siguientes velocidades á la temperatura cero:

Acido carbónico.	116	metros.
Oxígeno..	317	»
Aire.	333	»
Oxido de carbono.	337	»
Hidrógeno.	1269	»

18

452. La velocidad del sonido en los líquidos es próximamente cuatro veces mayor que en el aire. Lo que verificaron los señores Colladon y Sturm en el lago de Ginebra, haciendo sonar una campana dentro del agua: colocado el observador á 13485 metros de distancia, oia el sonido despues de 9″,4; lo que da una velocidad de cerca de 1435 metros por segundo.

453. Mucho mayor es aun la velocidad del sonido en los sólidos, llegando en algunos metales y maderas á ser hasta 15 y 18 veces mayor que en el aire: pero como depende de la estructura molecular de los mismos cuerpos, que es tan diferente en los diferentes sólidos, así tambien es muy diferente la velocidad del sonido en cada cuerpo. Chladin llegó á determinarla en muchos sólidos con el método siguiente. Sea l la longitud de una varilla fija en su punto medio, n el número de oscilaciones en 1″, y v la velocidad del sonido en dicha varilla, cuando da el sonido fundamental, esto es, cuando vibra longitudinalmente, teniendo sus extremidades libres y un nodo en medio: la longitud de las olas, que en sí producirá, será igual á la longitud de la misma vara, por lo que las olas producidas en un segundo serán nl, que es cabalmente la velocidad v del sonido en la varilla durante este segundo, ó sea $v=nl$; para un tubo sonoro de la misma longitud, abierto por sus extremos será tambien $v'=n'l$; de donde $\frac{v}{v'}=\frac{n}{n'}$, es decir que la relacion entre el sonido fundamental de la vara, que vibra longitudinalmente y del tubo abierto por ambos extremos ó sea la de los números respectivos de sus vibraciones será igual á la relacion de la velocidad en el sólido y en el aire. Por ej. una varilla de pino de 8 piés fija en su punto medio, vibra al unison con el do_5 del teclado; pero un tubo abierto de 8 piés da el do_1, luego $\frac{n}{n'}=\frac{do_5}{do_1}=\frac{2^5}{2}=16$, luego la velocidad del sonido en el pino es diez y seis veces mayor que en el aire, por lo que se tendrá $v=16\times340=5440$ metros.

454. Conociendo la velocidad del sonido y el número de oscilaciones que lo producen, fácilmente se puede determinar la longitud de las ondas aéreas, que lo conducen, pues corriendo un sonido 340 metros por segundo, si el cuerpo no hiciese sino una sola oscilacion en este tiempo, la longitud de esa onda sonora seria de 340 metros, y si hace 2 será la mitad y en general será $\frac{340}{n}$.

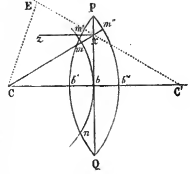
455. La determinacion de la velocidad del sonido es útil á los navegantes, para conocer la distancia de un puerto, ó de una nave; á los soldados para saber cuanto dista una fortaleza ó batería enemiga; á los geógrafos para determinar la distancia entre dos lugares

principalmente inaccesibles. Si los dos puntos, cuya distancia se quiere determinar, no fuesen visibles, el observador colocado en la segunda estacion tirará el cañonazo en el instante que oirá él que se tiró en la primera, y contando el observador colocado en ésta los segundos, que habrán pasado desde que tiró él hasta oir el tiro de la segunda estacion, y partiendo por 2, se tendrá el tiempo trascurrido en la propagacion del sonido entre ambos lugares. Finalmente se podrá saber con alguna aproximacion la distancia de una nube, contando los segundos pasados entre la aparicion del rayo, y el trueno, y multiplicando su número por 340 metros.

CAPÍTULO IX.

DE LA REFLEXION DEL SONIDO POR EL AIRE, Y DEL ECO.

456. Siendo el aire un cuerpo eminentemente elástico, al chocar contra un plano no blando, las ondulaciones sonoras que se propagan por él, se reflejan segun las leyes de los cuerpos elásticos, produciendo así el sonido reflejado, de modo que un observador colocado en E (fig. 92) delante de un obstáculo PQ oirá dos sonidos, uno directo del centro C, y otro como venido del centro C', á igual distancia del obstáculo (390), y así tirada la perpendicular xz, el ángulo Cxz de incidencia, siendo igual al ángulo C=C', será tambien igual al ángulo Exz ó sea de reflexion; es decir, *en la reflexion del sonido, los ángulos de incidencia y de reflexion son iguales.*



(Fig. 92.)

457. En esta ley se funda la construccion de las salas acústicas, las cuales si son de forma elíptica, el sonido producido en uno de sus focos, se reconcentra en el otro. La superficie parabólica refleja paralelos los sonidos emitidos desde su foco. Un fenómeno análogo se observa en las salas con bóveda, y debajo de los arcos de los puentes, y en otras construcciones semejantes, en que las palabras pronunciadas en voz baja contra una de las paredes se oyen bien en la otra opuesta.

458. Aunque la intensidad del sonido en la extremidad del radio reflejado debe ser naturalmente mas débil que el sonido directo, no obstante cuando el obstáculo es algo cóncavo, suele ser mas intenso que el directo, porque se concentran muchos radios sonoros, refleja-

dos. La velocidad del sonido reflejado es igual á la del directo, pues para llegar al punto de donde salió, emplea un tiempo doble como enseña la experiencia.

459. El sonido no solo se refleja en la superficie de los cuerpos sólidos, como por ej. una pared, sino tambien en las velas de las naves, cuando están bien tendidas, en las nubes, en la niebla y en el aire mismo, cuando ѐncuentra una capa mas densa, que la que acaba de atravesar. Así de dia calentando el sol fuertemente la tierra, el aire inmediato á ella tiene menor densidad que el superior, por lo que el sonido sufre una multitud de reflexiones que lo debilitan mucho, y esta es otra de las causas, por las cuales los sonidos se perciben mejor de noche, pues el aire tiene entónces una densidad mas uniforme.

460. Llámase *eco* el sonido percibido por reflexion. Para que haya eco es necesario, que el observador esté colocado en la direccion del sonido reflejado, y además, que el obstáculo esté á lo menos á 17 metros de distancia, del punto donde tuvo orígen el sonido; porque no pudiéndose distinguir los sonidos sucesivos, si á lo menos no pasa un décimo de segundo entre ellos, siendo la velocidad del sonido de unos 340 metros por 1″, en un décimo correrá 34 metros, y por tanto el obstáculo deberá estar á 17. Como no es fácil pronunciar mas de 10 sílabas por segundo, el eco será monosílabo, si la superficie reflejante se halla á 17 metros de distancia; será bisílabo, trisílabo y en general se oirán tantas sílabas, cuantas veces la distancia de dicha superficie contenga al número 17. Hay ecos que repiten hasta un exámetro entero.

461. Se llaman *ecos múltiplos,* cuando el mismo sonido se repite muchas veces, lo que sucede cuando hay muchos obstáculos, que lo reflejan, ó á lo menos cuando se produce entre dos planos paralelos, porque reflejado el sonido en el uno, va á reflejarse otra vez en el otro. Plinio cita el pórtico de Olimpia, que tenia un eco llamado *eptafono,* porque siete veces reproducia el mismo sonido. En la ciudad de Verdun existia un eco, cuyo sonido reproducido por dos torres colocadas á 177 piés de distancia, se repetia hasta doce veces. En el castillo de Simoneta cerca de Milan hay otro, que repite hasta 20 y mas veces el mismo sonido por efecto de dos paredes paralelas.

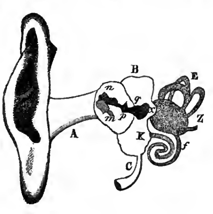
462. Cuando el obstáculo está á una distancia menor de 17 metros el sonido directo se confunde en parte con el reflejo, y se refuerza, produciéndose una *resonancia*. Estas se perciben en lugares cerrados y poco espaciosos, que no pocas veces se hacen incómodas para los que escuchan á un orador. Las salas sin ornatos ó colgaduras suelen ser resonantes, al revés las que están adornadas con colgaduras se hacen sordas, reflejando mal los sonidos recibidos.

CAPÍTULO X.

DEL ÓRGANO DEL OIDO.

463. El órgano del oido por medio del cual percibimos los sonidos, es un aparato no poco complicado, situado en una cavidad ósea en las partes laterales del cráneo. Este aparato puede dividirse en tres partes principales, que son: el pabellon, el tímpano y el laberinto.

464. La parte exterior ú *oreja* llamada *pabellon* está en forma de diferentes curvas destinadas á dirigir las ondas sonoras, hácia el conducto auditivo exterior A (fig. 97) colocado en su centro, y que va á terminar en una membrana dura, resistente, y estirada, como la piel de un tambor que lo separa de la caja del tímpano BC.



(Fig. 97.)

465. La parte media del oido, denominada el *tímpano*, es una cavidad, en la que se hallan cuatro huesecitos, que por su figura se llaman *martillo*, *yunque*, *lente* y *estribo*. El mango ó punta inferior del martillo *m* está pegado con la membrana del timpano, y su cabeza ó parte mas voluminosa con el yunque *n*, este se articula con el estribo *q* por medio del huesecito lenticular *p*. El tímpano está lleno de aire que comunica con el aire exterior por medio de un tubo estrecho C denominado *trompa de Eustaquio*, cuya parte mas ancha termina en el interior de la nariz.

466. La tercera parte del órgano del oido ó sea el *laberinto*, se compone de cuatro canales ó tubitos, tres de los cuales E son de forma semicircular, y el cuarto *f*K enrollado en espiral, que por esto se denomina *caracol*. Estos canales comunican con una pequeña cavidad conocida con el nombre de *vestíbulo*, que pone en relacion con el tímpano una abertura *x* llamada *ventana oval*, sobre la cual se apoya el estribo: otra abertura Z llamada *conducto auditivo interior*, está atravesada por el nervio acústico, que viniendo del cérebro se pierde en el interior del vestíbulo y de los canales en fibras sumamente delicadas. Uno de los extremos del caracol se confunde con el

vestíbulo, y el otro extremo K, llamado *ventana redonda*, termina en el tímpano. Finalmente todo el interior del laberinto y de los canales está lleno de un líquido semejante al agua, denominado *líquido de Cotugno*, que dos películas muy finas, con que están tapadas las dos ventanas *oval* y *redonda*, impiden su derramamiento en la caja del tímpano.

467. Esto supuesto las ondas sonoras, que llegan al pabellon de la oreja, dirigidas por medio del conducto auditivo exterior hasta la membrana del tímpano, la conmueven, y el martillo repitiendo sus vibraciones sobre el yunque, le hace tirar y rechazar del mismo modo el estribo: este apoyado sobre la película de la ventana oval, le comunica sus movimientos, que por medio del líquido contenido en el laberinto, son trasmitidos á las innumerables fibras del nervio acústico, que se hallan diseminadas en toda su masa. En estos movimientos el líquido oprimido empuja un poco la película de la ventana redonda, que siendo muy flexible, cede á la impresion recibida; pero al cesar la accion del estribo sobre la ventana oval, vuelve á su posicion anterior por efecto de la elasticidad del aire contenido en el tímpano.

468. No todos convienen en la apreciacion de las funciones que tienen las diferentes partes descritas del oido, y cuales sean esenciales á la percepcion de los sonidos; pero la explicacion que se acaba de dar, extractada de las lecciones de anatomía del Dr. Anzoux, parece la mas satisfactoria.

LIBRO SEXTO.

PRINCIPIOS DE QUÍMICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

NOCIONES PRELIMINARES.

469. El objeto de la *Química* es inquirir la naturaleza íntima de los cuerpos, para conocer los que son simples, y los que son compuestos; de estos cuales son sus elementos, sus proporciones, y con que leyes se combinan, ó separan.

470. Muchos cuerpos son compuestos, porque vemos contínuamente transformarse unas substancias en otras, sin que aumente la cantidad absoluta de la materia: estos cambios se hacen por medio de composiciones y descomposiciones, ó sea de sintésis y de análisis. En estas dos operaciones producidas con la cooperacion del arte, consiste la química práctica.

471. Habiendo pues cuerpos compuestos, debe haber tambien los simples, ó sea los elementos, de que se compone, y en que se descompone, cuanto se hace y deshace; pero como descomponiendo un cuerpo, se prueba solamente que es compuesto, y no que sus elementos separados sean simples, así los químicos, enumerando las substancias que llaman *simples*, entienden las que en ninguna manera se han podido descomponer en nuevos y diferentes elementos, y que además no hay ninguna prueba sólida, de que sean compuestas.

472. Por medio de la pila voltáica descomponiéndose los cuerpos, unos se recogen al polo positivo, otros al negativo, como se verá en el tratado de la electricidad. El oxígeno constantemente va al polo positivo, y el potásio siempre al negativo: los demás cuerpos van al uno ó al otro de los dos polos, segun que se hallan combinados con otro cuerpo, que tiene mayor tendencia al polo opuesto. Por lo que los cuerpos se dicen *electro-negativos* ó *electro-positivos*, segun que con mas frecuencia se recogen al polo positivo, como el oxígeno, ó al polo négativo como el potasio.

473. Hay algunos cuerpos que se distinguen de los demás por

ciertos caracteres exteriores, como son la opacidad, la conductibilidad del calor y de la electricidad, y por un cierto lustre metálico; tales cuerpos se llaman *metales*. Otros carecen de estas propiedades, y se llaman *metaloides*. Los metales se distinguen tambien de los metaloides por la propiedad esencial que tienen de formar ciertos compuestos llamados *bases*, uniéndose con el oxígeno, mientras que los metaloides, uniéndose con esta substancia, jamás forman *bases*, sino solo compuestos que se denominan *neutros* ó *ácidos*.

CAPÍTULO II.

NOMENCLATURA QUÍMICA.

474. Los nombres de muchos cuerpos simples se han sacado de alguna de sus propiedades. Estos nombres se indican por una inicial, que suele ser la de la palabra vulgar, ó latina, con que se expresa la substancia. Los cuerpos simples conocidos en la actualidad son sesenta y cinco, cuyos nombres é iniciales que los representan, son los siguientes.

				METALOIDES.				
1	Oxígeno. . . .	O.	6	Iodo. . .	I.	11	Fósforo. .	Ph.
2	Hidrógeno.. . .	H.	7	Fluor. . .	Fl.	12	Arsénico. .	As.
3	Nitrógeno ó Azoe.	N.	8	Azufre. . .	S.	13	Carbonio. .	C.
4	Cloro.	Cl.	9	Selenio.. .	Se.	14	Boro. . .	B.
5	Bromo.	Br.	10	Teluro. . .	Te.	15	Silicio.. .	Si.
				METALES.				
16	Potasio.. . . .	K.	33	Manganeso.	Mn.	50	Urano. . .	U.
17	Sódio.	Na.	34	Hierro. . .	Fe.	51	Pelopio. .	Pe.
18	Litio..	Li.	35	Niquel. . .	Ni.	52	Nióbio. .	Nb.
19	Bario.	Ba.	36	Cobalto. .	Co.	53	Ilmenio. .	Il.
20	Estroncio. . . .	St.	37	Zinc. . . .	Zn.	54	Plomo.. .	Pb.
21	Calcio.	Ca.	38	Estaño. . .	Sn.	55	Bismuto. .	Bi.
22	Magnesio. . . .	Mg.	39	Titano. . .	Ti.	56	Antimonio.	Sb.
23	Aluminio. . . .	Al.	40	Tántalo. .	Ta.	57	Cobre. . .	Cu.
24	Glucinio. . . .	Gl.	41	Cadmio.. .	Cd.	58	Mercurio. .	Hg.
25	Torinio.. . . .	Th.	42	Cromo. . .	Cr.	59	Rutenio. .	Ru.
26	Zircon.	Zr.	43	Molibdeno .	Mb.	60	Plata. . .	Ag.
27	Itrio..	Y.	44	Vanadio. .	Va.	61	Oro. . .	Au.
28	Erbio.	Er.	45	Tungsteno.	W.	62	Platino. .	Pt.
29	Terbio.	Tr.	46	Iridio. . .	Ir.	63	Rubidio. .	Rb.
30	Cerio.	Ce.	47	Osmio. . .	Os.	64	Cesio. . .	Cs.
31	Lantano. . . .	La.	48	Paladio.. .	Pd.	65	Talio. . .	Tl.
32	Didimio. . . .	Di.	49	Rodio. . .	Rh.			

M. Cobell pretende tambien haber descubierto últimamente otro metal, que llama *Dianio*, pero se duda mucho de su existencia.

475. Algunos cuerpos simples se presentan á veces bajo diferentes aspectos, y parecen diferir de sí mismos en sus propiedades físicas y químicas. Tales son entre otros el platino, el hierro, el tántalo, etc., segun los métodos con que se han extraido de sus combinaciones. Este fenómeno se atribuye á la diferente manera, con que se agregan las meléculas en diferentes circunstancias, y estas modificaciones toman el nombre de *alotrópicas*.

476. Los principales compuestos son los ácidos, los óxidos, los álcalis y las sales. *Acidos* se llaman aquellos compuestos que tienen un sabor ágrio, enrojecen muchas substancias vegetales, y tienen una grande tendencia á formar sales, uniéndose con otros compuestos. Los óxidos son compuestos oxigenados binarios, los cuales si se unen á los ácidos, para formar sales, toman el nombre de bases: entre estas bases se cuentan los *álcalis*, que tienen un sabor cáustico, restituyen los colores cambiados por los ácidos, cuando la materia colorante no ha sido destruida, y convierten en verdes y luego en amarillos muchos colores azules vegetales. Finalmente el mayor número de las sales se forma de la union de un ácido con una base.

477. En los nombres de los compuestos el elemento negativo se antepone, y determina el género, el positivo se pospone y expresa la especie. En los compuestos binarios el género acaba en *ido*, ó en *uro*: la terminacion es en *ido*, 1.° si el binario contiene oxígeno, y en este caso el género se expresa con la palabra ácido, si forma un compuesto ácido, y si no lo forma, se dice *oxido*: 2.° si el binario no oxigenado es un compuesto análogo á los ácidos; así se dice *clorido, sulfido*, etc. Fuera de estos dos casos la terminacion del género es siempre en *uro, cloruro, sulfuro,* etc.

478. La especie, que tambien toma el nombre de *radical*, se pone en genitivo ó se adjetiva, acabando en *oso* ó en *ico*, *sulfuroso*, *sulfúrico*. La terminacion *oso* indica menor cantidad del género, y la terminacion *ico* mayor cantidad del mismo género. La máxima cantidad se expresa anteponiendo la partícula *per*, *peróxido de manganeso*: la partícula *hipo* indica una menor cantidad del género de lo que seria, si no se antepusiese dicha partícula: así en el *ácido hiposulfuroso* se contiene menos oxígeno que en el *ácido sulfuroso*. Para distinguir los grados sucesivos de la combinacion de unos mismos elementos, se permiten las partículas *proto*, *sesqui*, *deuto* ó *bi*, *trito* ó *tri*, *cuatri*, *penta*; así se dice *protóxido*, *sesquióxido*, *bióxido*, *etc*.

479. Algunos autores antiguos llaman *hidrácidos*, á los compuestos ácidos, que en vez del oxígeno tienen el hidrógeno, y para distinguirlos de los ácidos oxigenados, anteponen la palabra ácido al adjetivo del compuesto hidrogenado, así dicen *ácido hidroclórico*, *ácido hidrosulfúrico*, etc; pero esta denominacion es defectuosa, porque á mas de no ser tan sencilla, no da á entender, cual es el elemento

negativo, que parece ser el hidrógeno, y en realidad es el otro elemento. Para corregir en parte estos defectos, muchos químicos modernos posponen la partícula *hidro*, y dicen *ácido clorhídrico*, *ácido sulfhídrico*, etc.; pero la denominacion mejor es, siguiendo la nomenclatura expuesta en el n. anterior, *clórido hídrico*, *súlfido hídrico*, etc.

480. En la nomenclatura de las sales formadas por un ácido y una base, si la terminacion adjetiva del ácido es *ico*, el género acaba en *ato*, y si la terminacion es *oso* acaba en *ito*; así los nombres *ácido sulfúrico*, *ácido sulfuroso*, en la formacion de la sal se convierten en *sulfato* el primero, y en *sulfito* el segundo. El nombre de la base se pone en genitivo, ó se adjetiva, diciéndose *sulfato de cal*, ó *cálcico*.

481. Las sales que contienen un exceso de ácido, se llaman *sales ácidas* ó *sopra-sales*, y las que tienen la base en exceso, se dicen *sales básicas* ó *sub-sales*; así se dice *sulfato ácido de potasa*, *subacetato de plomo*; los grados sucesivos se distinguen tambien por las partículas *proto*, *sesqui*, *deuto* ó *bi*, *trito*, etc.; diciéndose *protosulfato*, *bisulfato*, etc., siendo sales ácidas, y en las sales básicas diciéndose *bibásico*, *tribásico*, *etc.*, por ej. *acetato de plomo bibásico*.

482. Como las *oxisales* son compuestas de dos binarios, que cada uno tiene oxígeno, así hay las *sulfosales*, las *selenisales*, las *telurisales* y las *clorosales*, formadas por un sulfido y un sulfuro, un selenido y un seleniuro, un telurido y un teluriuro, un clorido y un cloruro, las cuales clases de sales toman el nombre de *sales amfidas*, y los cinco cuerpos, esto es, oxígeno, azufre, selenio, teluro, y cloro que dan origen á las dos clases de compuestos binarios, que mútuamente se neutralizan, se dicen cuerpos *amfígenos*.

483. Hay otra clase de sales que se llaman *aloideas*, compuestas de cloro, ó bromo, ó iodo, ó fluor, ó cianógeno con un metal, de las cuales la mas importante es el cloruro sódico, ó sea la sal de cocina. Estas sales pueden ser tambien ácidas, ó básicas.

484. La combinacion de dos metales se llama *liga* ó *aleacion* y comunmente no tienen tecnologia propia. Si uno de los metales es el mercurio, el compuesto toma el nombre de *amalgama*, poniéndose en genitivo el metal que no es el mercurio, así se dice *amalgama de plata*.

485. Algunos compuestos se suelen nombrar con una sola palabra; como son los álcalis, las tierras, el cianógeno, ó sea nitruro de carbono, el agua, ó sea óxido hídrico, etc.; pero el uso presto los da á conocer.

486. El oxígeno, el hidrógeno y el carbono forman muchos compuestos, casi todos vegetales, y unidos al nitrógeno ó ázoe forman compuestos por lo comun animales. La nomenclatura de estos compuestos carece aun de una base fija, y si bien se han adoptado por algunos químicos varios sistemas, ninguno ha sido generalmente re-

cibido. Con todo si los compuestos son ácidos, el nombre derivado de la sustancia, de que se extraen, acaba en *ico;* y si bases, termina en *ina.* Así se dice *ácido cítrico*, *ácido acético*, *quinina*, *morfina*, *estearina*, *etc*.

CAPÍTULO III.

FENÓMENOS DE LA AFINIDAD QUÍMICA.

487. Por *afinidad química* ó de *composicion* que tambien se dice *atraccion química*, se entiende aquella tendencia que tienen á unirse las moléculas de diferente naturaleza. Todos los cuerpos están dotados de esta fuerza, aunque algunas veces para que produzca su efecto se necesita la presencia de un tercer cuerpo. Así el agua y el aceite no se combinan sin el concurso de la potasa. El oro y el platino no se oxidan, sin la intervencion del cloro.

488. Algunos cuerpos se combinan con el simple contacto, como el oxígeno y el ácido nitroso, el fósforo y el iodo, el hielo y la sal comun y otros. No obstante como la coherencia de las moléculas en un sólido opone un impedimento, no solo por efecto de la atraccion molecular homogénea, sino tambien por los pocos puntos de contacto que los sólidos ofrecen, ordinariamente se necesita, ó la fusion, ó la liquefaccion, ó á lo menos la pulverizacion del sólido. Así vemos que el hierro en masa no se oxida sino en la superficie, y reducido en polvo presto queda todo oxidado al contacto del aire y de la humedad. El cobre y el zinc, el cobre y el estaño, aun reducidos á polvo no se combinan, pero fundidos forman el laton y el bronce.

489. Así tambien muchas veces conviene elevar la temperatura de los cuerpos, que se quieren combinar, pues con tal medio al mismo tiempo que se disminuye su coherencia, se acercan mas entre sí las moléculas heterogéneas. Mezclando polvos de clorato de potasa y de azufre, dificilmente se produce accion química entre estas dos sustancias; pero esta se desarrolla en un instante con un golpe de martillo, que con el choque eleva suficientemente la temperatura, produciendo una fuerte detonacion.

490. En las acciones químicas suele desarrollarse calor, que no pocas veces va acompañado de luz. Echando en el ácido sulfúrico la mitad de su peso de agua, y revolviendo la mezcla, esta se calienta instantáneamente, adquiriendo una temperatura superior á la del agua hirviendo. El fósforo mezclado con el clorato de potasa, se enciende y da una luz brillantísima, echando encima de la mezcla una sola gota de ácido sulfúrico. La detonacion que sucede en no pocas circunstancias, como por ejemplo, combinándose el oxígeno y el hi-

drógeno, es un efecto de la transformacion repentina en vapores de la sustancia producida en la combinacion por razon de la elevacion de temperatura. Así es que este desarrollo de calor es un indicio certísimo de la accion química.

491. A esta accion sucede la homogeneidad y muchas veces tambien la trasparencia del compuesto. Todos conocen la diafanidad del cristal, que no es mas que la arena combinada con la soda. Innumerables son los compuestos que gozan de la mas perfecta homogeneidad, sin que sea posible reconocer en ellos, aun con el microscopio, ninguna señal de heterogéneo. Por tanto esta propiedad, que tiene lugar despues de una accion química, es otro indicio no equívoco de la union íntima de los compuestos, y de la misma accion química entre ellos.

492. Atributo general de la combinacion química es el cambio de las calidades sensibles de los componentes. Así con respeto al estado, vemos por ej., que el oxígeno y el hidrógeno, que son dos gases, forman el agua: el ácido clorídrico y el amoníaco, tambien gases, constituyen la sal amoníaca, que es sólida. El cloro gas y el mercurio líquido producen el bicloruro de mercurio, que es sólido. El ácido nítrico y el mercurio ambos líquidos forman el nitrato de mercurio, que tambien es sólido. Al reves, el carbono y el azufre sólidos los dos, forman el líquido sulfuro de carbono. Finalmente, el oxígeno y el azufre producen el líquido ácido sulfúrico, Innumerables ejemplos se podrian añadir del cambio de estado que experimentan los cuerpos combinándose. Lo mismo se puede decir con respecto al color. Bastará citar dos solos ejemplos: el cobre pardo, combinado con el zinc, que es blanco forman el laton amarillo. El azufre amarillo, con el mercurio que es blanco argentino, constituyen el cinabrio encarnado. Así tambien el cloro y el sodio son poderosos venenos, y tienen un olor irritante; pero la sal comun que forman, no tiene ninguna de estas maléficas calidades. De modo que puede concluirse, que cuanto mas perfecta es la combinacion, tanto mas profundo es el cambio de las propiedades sensibles de los componentes.

493. La afinidad química es muy diferente entre las diferentes sustancias; así el oxígeno no se combina con el oro ó con el platino, aunque estén fundidos y encendidos, y basta una pequeña chispa, para combinarse en un instante con el hidrógeno. Así se comprende, como la afinidad química no produce su efecto á un tiempo sobre muchos cuerpos, uniéndose una sustancia solamente con aquella, con quien tiene mayor afinidad. Echando en el ácido nítrico pesos iguales de magnesia y de cal, esta se disuelve, y aquella queda intacta, y no obstante se hubiera disuelto, sin la presencia de la cal. Esta es la causa de que una sustancia deje á otra, con quien estaba unida, para combinarse con una tercera, con quien tiene mayor afinidad. Así echan-

do carbonato de cal en el ácido nítrico, se forma el nitrato de cal, y queda libre el ácido carbónico, en seguida con algunas gotas de ácido sulfúrico se descompone el nitrato de cal, y se obtiene el sulfato de cal, que siendo apenas soluble en el agua, se precipita al fondo en forma de una masa blanca.

494. Esta propiedad de las sustancias da el medio de separar y conocer los elementos de los compuestos. Llámase *reactivo* un cuerpo que se añade á un líquido, para conocer por medio de su accion la naturaleza y composicion del mismo líquido. Así se manifiesta la presencia del cobre en un líquido por medio del color azul, que toma con algunas gotas de amoníaco: el amoníaco es pues un reactivo del cobre. Así la infusion de agallas manifiesta la presencia del hierro en un líquido, dándolole el color negro. La solucion de almidon hace evidente la existencia de una sola parte de iodo en 450 mil partes de agua. Una sola gota de solucion de sal comun es suficiente para indicar el nitrato de plata. Así pues se pueden instituir muchas análisis cualitativas y tambien cuantitativas.

495. Aunque la energía de la accion química depende principalmente de la naturaleza de los cuerpos, con todo la masa ejerce tambien algun influjo. Facilmente se quita porcion del oxígeno del peróxido de manganeso; pero á medida que el manganeso abunda mas relativamente, la descomposicion es mas difícil. Pocas gotas de agua no enturbian la solucion ácida de nitrato de bismuto; pero á medida que se va aumentando el agua, la solucion se hace mas y mas turbia, separándose el óxido del ácido, que siendo insoluble, sus moléculas quedan suspendidas en la masa líquida, enturbiándola.

496. Los fenómenos expuestos prueban que la atraccion universal no puede considerarse como causa de los efectos químicos: pues dicha fuerza ejerce su accion en razon directa de la masa, é inversa del cuadrado de la distancia, sobre todos los cuerpos igualmente, al mismo tiempo, y sin debilitarse, y no aumenta ni disminuye con los cambios de temperatura. Pero la afinidad química es diferente entre los cuerpos de diferente naturaleza, en su efecto poco influye la masa, no ejerce su accion sino en distancias insensibles, no puede extenderse al mismo tiempo á muchos cuerpos, y finalmente varia con la temperatura.

CAPÍTULO IV.

DE LAS PROPORCIONES DETERMINADAS.

497. Los cuerpos se combinan en pocas y determinadas cantidades de masa, que se llaman *proporciones* ó *equivalentes*, porque en las

combinaciones se reemplazan unos cuerpos á otros, formando nuevos compuestos.

498. En una combinacion binaria permaneciendo constante la cantidad de un elemento, el otro puede aumentar segun los números 1, 2, 3, 4, 5, y pocas veces mas allá. Esta ley descubierta por Dalton, se llama ley de las *proporciones múltiplas*. Asi la misma cantidad de carbono, uniéndose con 1 de oxigeno, forma el óxido de carbono, y con 2 de oxígeno, el ácido carbónico. Dos partes de azufre se unen con 1, 2 y 3 partes de oxígeno, formando el ácido hiposulfuroso, el ácido sulfuroso y el ácido sulfúrico. Del mismo modo 7 partes de nitrógeno se unen con 4, 8, 12, 16, 20, de oxígeno, formando los compuestos óxido nitroso, óxido nítrico, ácido nitroso, ácido hiponítrico y ácido nítrico.

499. Las cantidades que, combinándose con 100 de oxígeno, forman los óxidos, se combinan tambien con 200 de azufre, formando los sulfuros, y con 443 de cloro en los cloruros, y con mil de bromo en los bromuros, etc., reemplazándose estos cuerpos los unos á los otros. Por lo que esta ley se llama de los *equivalentes químicos*, y da el modo de calcular la composicion de un cuerpo, por medio del análisis de otro; por ej. el óxido de plata se compone de 100 O.+1349Ag., luego el sulfuro constará de 200 S.+1349Ag., y el cloruro de 443 Cl.+1349Ag. Por lo que conociendo todos los óxidos y un sulfuro, un cloruro, etc., se conocerán todos los demás sulfuros, cloruros, etc.

500. Las sales conservan su neutralidad, si un metal sumergido en una solucion salina precipita á otro metal contenido en ella. De lo que se sigue que en las sales de un mismo género existe una relacion constante entre el oxígeno de la base y el ácido, porque sustituyéndose un metal á otro, ni se desarrolla oxígeno, ni la solucion queda ácida. Por lo que representando por R la cantidad de un radical cualquiera, se tienen los siguientes géneros de sales neutras.

275	Ac. carbónico	+	100	O.+R=Carbonato neutro.
500	Ac. sulfúrico	+	100	O.+R=Sulfato neutro.
675	Ac. nítrico	+	100	O.+R=Nitrato neutro.
943	Ac. clórico	+	100	O.+R=Clorato neutro.
1143	Ac. perclórico	+	100	O.+R=Perclorato neutro, etc.

Esta ley fué descubierta por Richter.

501. Bercelius reconoció que en las oxisales el oxígeno del ácido es siempre un múltiplo del de la base, y este múltiplo está representado por la proporcion del oxígeno que forma el ácido. Así en los carbonatos y sulfitos, esta relacion es de 2 á 1; en los sulfatos y nitritos, de 3 á 1; en los nitratos y cloratos, de 5 á 1; en los percloratos y periodatos, de 7 á 1. Relaciones semejantes se observan en los compuestos que no tienen oxígeno, como por ej. combinándose un sulfido, con un sulfuro, el azufre del primero es múltiplo del del segundo.

502. Las combinaciones de los cuerpos acidificables con los oxidables de tal manera están formadas, que si un elemento se convierte en ácido y el otro en óxido, los dos se hallan en las cantidades convenientes, para formar una sal. De este modo el sulfuro de hierro expuesto á la accion del aire y del agua, uniéndose sus elementos al oxígeno, se convierte en sulfato de hierro.

503. Como una cantidad de un ácido neutraliza distintas cantidades de bases diferentes, y una misma base neutraliza distintas cantidades de ácidos diferentes, si dos bases distintas neutralizan una cierta cantidad de un ácido A y otra cantidad diferente del ácido B, queriendo aumentar la cantidad del ácido menor, tambien se tendrán que aumentar en proporcion las cantidades de las dos bases, verificándose que *las cantidades de las dos bases que neutralizan á un ácido, son proporcionales á las cantidades de las mismas bases que neutralizan igual cantidad de otro ácido.* Por medio de esta ley conocida por *ley de Vencel*, sabiéndose las cantidades de dos bases que neutralizan un ácido A y una de ellas que neutraliza igual peso de otro ácido B, se hallará la cantidad de la otra base que neutraliza el mismo ácido B. Por ej. 100 de ácido clorhídrico neutralizan 85,91 soda y 210,3 barita: igualmente 100 de ácido sulfúrico neutralizan 78 soda; luego para hallar la barita se formará la proporcion $85{,}91 : 210{,}3 :: 78 : x = 190{,}93$ cantidad de barita que neutralizará las 100 partes de ácido sulfúrico.

504. Así como los elementos se combinan en proporciones determinadas con relacion al peso, así tambien se combinan en el mismo modo relativamente al volúmen, cuando se hallan en estado de gas; de modo que un volúmen de un elemento se combina con 1, 2, 3, 4, etc., volúmenes de otro elemento. El descubrimiento de esta ley es debido á Gay-Lussac.

CAPÍTULO V.

TEORÍA CORPUSCULAR Ó ATÓMICA.

505. La sencillez de las leyes expuestas en el capítulo precedente ha dado orígen á la teoría *corpuscular* ó *atómica*, segun la cual, cuando un cuerpo ha sido dividido hasta un cierto punto, resultan partículas ó moléculas, cuya continuidad no puede destruirse con ninguna fuerza mecánica, y así depende de una fuerza superior á todas las que pueden producir esta division. Tales partículas se llaman *átomos*, ó sea *indivisibles*, cuya magnitud es absolutamente imperceptible á nuestros sentidos. Lo que en el capítulo pasado se llama *equivalente*; segun esta teoría, toma el nombre de *átomo*.

506. Aunque no se pueda determinar la figura de estos átamos por medio de la experiencia, nada se opone á que se consideren de forma esférica, puesto que tal forma afecta la materia, cuando no sufre la influencia de fuerzas exteriores. Pero la figura de los compuestos podrá ser muy diferente, dependiendo del número de los átomos elementales, y de su mútua disposicion. Igualmente puede ser que la magnitud de los átomos de los diferentes cuerpos simples sea diferente; pero puede ser tambien que sea igual, no así la molécula compuesta, cuya magnitud depende del mayor ó menor número de átomos, y de su mucha distancia.

507. La union de los átomos es efecto de una fuerza, que uniendo átomos homogéneos produce la cohesion mecánica, y juntando átomos heterogéneos, la combinacion química. Combinándose los átomos de diferentes cuerpos, resulta un átomo compuesto, en el cual la fuerza que produce esta combinacion, sobrepuja cualquiera otra fuerza, que tienda á separar mecánicamente los elementos unidos, por lo que el átomo compuesto no se podrá dividir sin destruirlo, y así se deberá considerar tan indivisible por fuerzas mecánicas, como el átomo elemental. Los átomos compuestos de átomos elementales se llaman *compuestos de primer órden.*

508. Los átomos compuestos de primer órden combinándose entre sí forman átomos compuestos *de segundo órden*, y estos combinándose aun, producen los de *tercer órden*, y así sucesivamente. El ácido sulfúrico, la potasa, la alumina y el agua constan de átomos compuestos de primer órden, formados por el oxígeno y un radical: el sulfato potásico, y el sulfato alumínico, sou ya compuestos de segundo órden; el alumbre seco formado de estos dos sulfatos constará de átomos de tercer órden, y finalmente el alumbre cristalizado, que contiene además muchos átomos de agua ofrece un ejemplo de átomos compuestos de cuarto órden. Para conocer bien la naturaleza, convendria saber hasta donde llega la combinacion de los átomos compuestos, y cual es el último órden. Observando que la afinidad disminuye rápidamente á medida que crecen estos órdenes, de modo que á veces es ya muy débil en los de tercer órden, se puede deducir que estos órdenes deben ser muy pocos.

509. Admitiendo que los átomos de los cuerpos simples sean esferas de igual magnitud, se sigue que con igual número é igual disposicion se formarán compuestos de la misma figura, ó forma cristalina. Mitscherlich ha hallado que los arseniatos y los fosfatos toman la misma forma cristalina, cuando tienen el mismo grado de saturacion y la misma cantidad de agua. Lo mismo se observa en muchos otros compuestos; que por esta razon se llaman *isomorfos* esto es, de igual figura.

510. Por el contrario, si el mismo número de átomos toma dife-

rente disposicion, tambien la figura ó forma cristalina será diferente. De otra manera no se comprende, como cuerpos de idéntica composicion, y de la misma capacidad de saturacion tengan propiedades y formas cristalinas diferentes. En este caso se hallan las modificaciones del ácido fosfórico calcinado, del ácido fulmínico, y del ácido cianoso, las dos modificaciones del óxido de estaño, etc. Estos cuerpos, que teniendo la misma composicion y capacidad de saturacion, tienen propiedades diferentes, se llaman cuerpos *isoméricos*, esto es, compuestos de las mismas partes.

511. La relacion que existe entre las proporciones determinadas con respecto al peso, y los volúmenes en estado de gas (504), parece indicar que existe una dependencia íntima entre el número de átomos y los mismos volúmenes, de otra manera el resultado obtenido combinando los volúmenes, seria diferente del que se obtendria con el peso.

512. Combinándose un volúmen de un elemento, con igual volúmen de otro elemento, sin que se produzca disminucion en la suma de volúmenes, el número de los átomos compuestos en cada volúmen será la mitad del número de los átomos simples antes de su combinacion. Lo mismo sucederá cuando el gas esté compuesto de dos volúmenes de un elemento y uno del otro, y se reduzcan los tres volúmenes á solos dos, porque los átomos compuestos de tres átomos elementales, ocupan el espacio ocupado antes por un número doble de átomos elementales. Por lo que puede congeturarse, que con la distancia de los átomos compuestos, haya crecido tambien su fuerza repulsiva, la cual sea la causa de su mayor separacion.

513. Hé aquí algunos gases cuya condensacion bien conocida merece una particular mencion. 1.° Un volúmen de cada gas sin condensacion: *óxido nítrico, óxido carbónico, ácidos clorhídrico, bromhídrico, iodhídrico, fluorhídrico, cianhídrico.* 2.° Un volúmen de cada gas, condensados en un volúmen: *cianógeno, oxicloruro carbónico.* 3.° Un volúmen de un gas y dos de otro condensados en dos volúmenes: *vapor de agua, óxido nitroso, ácido sulfhídrico, ácido carbónico, óxido clórico.* 4.° Un volúmen de un gas y dos de otro condensados en un volúmen: *carburo dihídrico.* 5.° Un volúmen de un gas y tres de otro condensados en dos volúmenes: *amoníaco.* 6.° Dos volúmenes de un gas y tres de otro condensados en tres volúmenes: *ácido cloroso.* 7.° Un volúmen de un gas y cuatro de otro, condensados en dos volúmenes: *carburo tetrahídrico.*

CAPÍTULO VI.

MÉTODOS PARA DETERMINAR EL PESO ATÓMICO DE LOS CUERPOS.

514. El método mas ordinario para determinar el peso atómico de los cuerpos, consiste en analizar con la mayor exactitud sus combi-

naciones con el oxígeno, porque expulsado este con el calor, se conocerá el peso del radical, y por el cálculo se deducirá el del oxígeno. Supongamos que en 100 partes en peso de oxido de plata, hayan quedado 93,0987 de plata, luego el oxígeno era 6,9013; por lo que se formará la proporcion 6,9013 : 93,0987 : : 100 : x=1349,02 proporcion ó equivalente químico, ó sea peso atómico de la plata, que combinado con 100 de oxígeno da el oxido de plata.

515. Un método muy sencillo para los cuerpos, que se pueden obtener en estado de gas, consiste en pesarlos en este estado bajo un determinado volúmen, y comparar luego los pesos obtenidos : por ejemplo un volúmen de oxígeno pesa 1,1056 del peso del aire tomado por unidad, y un igual volúmen de hidrógeno pesa 0,0692; pero el vapor acuoso está formado de un volúmen de oxígeno y dos de hidrógeno, luego se tendrá la proporcion 1,1056 : 2×0,0692 : : 100 : x=12,5.

516. Si los cuerpos se combinasen en una sola proporcion, estas combinaciones se harian siempre de equivalentes con equivalentes, y así seria fácil determinar el valor numérico de cada equivalente ó su peso atómico, con relacion al peso de otro cuerpo tomado por unidad. Pero como los cuerpos se unen en varias proporciones, se ha convenido en tomar por peso atómico, la cantidad ponderable de un cuerpo, que se combina con 100 de oxígeno para formar el primer grado de oxidacion. Pero si el compuesto no tiene oxígeno se toma por peso atómico la cantidad del cuerpo que reemplaza las 100 partes de oxígeno para formar la primera combinacion. Así 200 partes de azufre reemplazando á 100 de oxígeno en el primer grado de sulfuracion, ó en el primer sulfuro, este número será el equivalente ó peso atómico del azufre.

517. Muchas veces el peso atómico de un cuerpo se hace depender de la analogía, que ofrecen sus combinaciones. Así el peso atómico de la plata se fija en 1349 y no en 2698, tomando el peso de la segunda oxidacion conocida, porque es el oxido que forma las sales neutras.

518. La isomorfia ofrece tambien un medio para determinar los pesos atómicos. Dos cuerpos que tienen una misma forma cristalina se pueden suponer formados por igual número de átomos igualmente colocados. Conociendo pues el equivalente de un cuerpo, quedarán conocidos los equivalentes de otros cuerpos isomorfos con aquel. Por ejemplo la alumina, que es el único oxido de aluminio que se conoce, es isomorfa con los oxidos férrico y mangánico, en los cuales consta que hay tres equivalentes de oxígeno por dos de hierro ó de manganeso; luego tambien la alumina constará de tres átomos de oxígeno y dos de aluminio. Ahora en 100 partes de alumina hay 46,74 O. y 53,26 Al., luego se formará la proporcion 46,74 : 53,26 : : 300 : x=341,85, que dividido por 2 da 170,92.

519. Puede tambien ser útil en muchas circunstancias la ley que

se saca del calórico específico de los cuerpos. Dulong y Petit observaron, que multiplicando el peso atómico de los cuerpos por su calórico específico resultan productos sensiblemente iguales. Por ejemplo 200 (peso atómico del azufre)×0,2019 (calórico específico del azufre)= 40,4 ; 1294 (peso del Pb.)×0,0314 (calórico específico del Pb.)=406. Lo mismo se observa en muchos otros cuerpos. Las pequeñas diferencias de estos productos, se deben atribuir á los errores y defectos apenas inevitables en tan delicadas experiencias. Por tanto dividiendo este producto por el calórico específico de un cuerpo simple, se obtendrá su peso atómico.

520. Para establecer una relacion entre el peso atómico de todos los cuerpos, se ha tomado uno de ellos por unidad, al cual se refieren los demás. Muchos químicos han tomado el oxígeno, porque se halla en la mayor parte de los compuestos, y porque para obtener el peso de un óxido basta añadir 100, 200, 300, etc., segun el número de átomos ó equivalentes de oxígeno, al peso atómico del radical, lo que simplifica mucho los cálculos.

521. Si en vez del oxígeno se quisiese tomar otro cuerpo por unidad, para los demás cuerpos se obtendrian números que conservarian entre sí las mismas relaciones. Tómese por ej. por unidad el hidrógeno que es el cuerpo mas ligero; los pesos de los demás cuerpos se obtendrán por una simple proporcion. Así para el oxígeno se tendrá 12,5 (peso del hidrógeno) : 100 (peso del oxígeno) : : 1 : x=8. Con este procedimiento habiendo observado el químico inglés Prout, que para muchos cuerpos resulta un número entero, concibió la idea, de que el peso atómico de todos los cuerpos, era un múltiplo del peso del hidrógeno. En el estado actual de la ciencia los procedimientos mas exactos no dan para muchos cuerpos números múltiplos del hidrógeno, pero tampoco su peso atómico se puede decir aun bien definido, ni los métodos de análisis han llegado á una completa perfeccion.

522. Tabla del peso atómico de los cuerpos simples relativamente al oxígeno=100, y al hidrógeno=1.

SUSTANCIAS.	CIFRA.	O.=100	H.=1.	SUSTANCIAS.	CIFRA.	O.=100	H.=1.
Aluminio. .	Al.	170,90	13,68	Manganeso. .	Mn.	344,68	27,57
Antimonio. .	Sb.	806.45	64,52	Mercurio. .	Hg.	1250,00	100,00
Arsénico.. .	As.	937,50	75,00	Molibdeno. .	Mo.	575,83	47,12
Azufre. . .	S.	200,00	16,00	Niobio.. . .	Nb.	1251,53	100,12
Bario. . . .	Ba.	858,00	68,67	Niquel.. . .	Ni.	369,75	29,57
Bismuto. . .	Bi.	1330,38	106,40	Nitrógeno. .	N.	175,00	14,00
Boro. . . .	B.	136,15	10,88	Oro. . . .	Au.	1229,16	98,22
Bromo. . .	Br.	1000,00	78,26	Osmio.. . .	Os.	1242,62	99,53
Cadmio. . .	Cd.	696,77	55,74	Oxígeno. . .	O.	100,00	8,00
Calcio. . .	Ca.	250,00	20,00	Paladio. . .	Pd.	665,47	53,22
Carbono. . .	C.	75,00	6,00	Pelopio. . .	Pe.	—	—
Cerio. . . .	Ce.	590,80	47,26	Plata. . . .	Ag.	1349,00	108,00
Cesio. . . .	Cs.	1541,88	123,35	Platino. . .	Pt.	1232,08	98,56
Cloro. . . .	Cl.	443,20	35,45	Plomo.. . .	Pb.	1294,50	103,56
Cobalto. . .	Cb.	369.00	29,52	Potasio. . .	K.	488.95	39,20
Cobre.. . .	Cu.	396,60	31,65	Rodio. . . .	Rh.	652,00	52.17
Cromo. . .	Cr.	328,50	26,24	Rubidio. . .	Rb.	1067,00	85,36
Didimio. . .	Di.	620,00	49,60	Rutenio. . .	Ru.	652,00	52,17
Erbio. . . .	Er.	—	—	Selenio. . .	Se.	495,28	39.28
Estaño. . .	Sn.	735,29	58,82	Silicio.. . .	Si.	266,74	21,35
Estroncio. .	St.	548,00	43,84	Sodio. . . .	Na.	287,17	22,98
Fluor.. . .	Fl.	235,43	19,18	Tantalo. . .	Ta.	1331,15	106,66
Fósforo. . .	Ph.	400,00	32,00	Teluro.. . .	Te.	801,76	64,52
Glucinio.. .	Gl.	87,12	6,97	Terbio.. . .	Tr.	—	—
Hidrógeno. .	H.	12.50	1,00	Titano.. . .	Ti.	314,70	25,17
Hierro. . .	H.	350,00	28,00	Torinio. . .	Th.	743.86	59,51
Ilmenio. . .	Il.	786,59	62,93	Tungsteno .	W.	1188,36	92,00
Iodo. . . .	I.	1586,00	126,88	Urano. . . .	U.	750,00	60,00
Iridio.. . .	Ir.	1232,08	98,66	Vanadio. . .	Va.	855,84	68,46
Lantano. . .	La.	588,30	47,04	Itrio. . . .	Y.	402,31	32,20
Litio. . . .	Li.	80,33	6,43	Zinc. . . .	Zn.	406,50	32,53
Magnesio. .	Mg.	150,00	12,10	Zircon.. . .	Zr.	419,73	33,60

CAPÍTULO VII.

FÓRMULAS DE LAS COMBINACIONES, Y MODO DE EXPRESAR CON ELLAS LAS ANÁLISIS DE LOS CUERPOS.

523. Para expresar con una fórmula la composicion atómica de los cuerpos, se escriben las iniciales ó cifras con que se representan sus elementos, la una á continuacion de la otra, posponiendo siempre la que representa el elemento negativo; así *Cu*O indica el óxido de cobre compuesto de un átomo de cada elemento. El número de átomos se expresa con una cifra puesta como un exponente sobre la inicial, por ej. S^2O^5 indica un átomo de ácido hiposulfúrico compuesto de dos átomos de azufre y de 5 de oxígeno. Para indicar muchos áto-

mos compuestos, se pone un número delante, á modo de coeficiente; así $3S^2O^5$ expresa tres átomos de ácido hiposulfúrico.

524. Para simplificar estas fórmulas algunos químicos representan los átomos ó equivalentes del oxígeno con puntos puestos sobre el radical, y cuando este entra por dos átomos pasan una línea horizontal á través de su signo; y finalmente el número de átamos compuestos lo representan con un exponente puesto sobre el signo del átomo compuesto.

525. Los átomos compuestos de segundo órden se representan escribiendo una á continuacion de otra las fórmulas de los átomos compuestos de primer órden, interponiendo una *coma* si se escribe la inicial del oxígeno, ó sin ella, si se expresa con puntos: por ejemplo

$CuO, SO^3 = C\dot{u}\ \dddot{S}$ quiere decir sulfato cúprico.

526. Como los puntos representan los átomos de oxígeoo en sus combinaciones, así se pueden representar los átomos de azufre en las sulfuraciones por comitas, los del selenio por rayitas y los del teluro por crucecitas. Hé aquí un ejemplo de estas cuatro clases de fórmulas imaginadas por Berzelio.

$\dot{K}\ \dddot{Mo}$ = Oximolibdato potásico.

$\overset{,}{K}\ \overset{,,,}{Mo}$ = Sulfomolibdato potásico.

$\overset{-}{K}\ \overset{---}{Mo}$ = Selenimolibdato potásico.

$\overset{+}{K}\ \overset{+++}{Mo}$ = Teluromolibdato potásico.

527. Cuando de una análisis resultan tres ó mas elementos, de tal manera se debe dividir el elemento negativo entre los diferentes radicales, que en cada binario los átomos del elemento negativo sean un multiplo de los del radical; por ej. la análisis del mineral llamado *plata roja* da $Ag^3Sb^2S^{12}$, por lo que se tendrá $Ag^3S^6 + Sb^2S^6 = 3AgS^2 + 2SbS^3$.

528. Habiéndose pues analizado una sustancia cualquiera, se compararán los pesos obtenidos de cada uno de sus elementos con el peso atómico de los mismos elementos, por medio de una proporcion, que dará á conocer el número relativo de átomos ó equivalentes, de la sustancia analizada. Por ej., análisis de una galena ha dado por 100 partes 86,50 plomo y 13,50 azufre, comparando estos pesos con el peso atómico del plomo ó del azufre, se tendrá 86,50 : 13,50 : : 1294,50 (peso atómico del Pb): x=202,03; pero el peso atómico del azufre es 200, luego el plomo y el azufre en el mineral propuesto entran por igual número de átomos, pudiéndose atribuir la pequeña diferencia, á los defectos que se hayan cometido en la análisis, y así la referida sustancia se expresará por PbS.

529. El mismo resultado se obtiene por otro método. El número 86,50 expresa el peso total de los átomos de plomo contenidos en la

galena, y el número 13,50 los del azufre, luego dividiendo estos números por el respectivo peso del átomo, se tendrá el número relativo de los átomos de plomo y de azufre. Así pues $\frac{86,50}{1290,50}=0,0668$, $\frac{13,50}{200}=0,0675$; los cuocientes obtenidos siendo sensiblemente iguales, dan á conocer que los elementos entran en la composicion de la galena por el mismo número de átomos, y así la fórmula será como antes *Pb*S.

530. Supóngase que la análisis de un mineral haya dado por 100 partes 35 azufre, 35 cobre, y 30 hierro, calculando estos números con los pesos atómicos de los respectivos cuerpos, se tendrá $\frac{35}{200}=0,175$, $\frac{35}{396,60}=0,088$, $\frac{30}{350}=0,086$: estos cuocientes estando entre sí como 2, 1, 1, la fórmula será $CuFeS^2=CuS+FeS$.

CAPÍTULO VIII.

DE LAS SOLUCIONES, Y DE OTROS FENÓMENOS ANÁLOGOS.

531. Se llama *solucion* el líquido que resulta de la combinacion de un cuerpo con un líquido que se llama *solvente*. El agua es el principal solvente de los cuerpos; pero tambien otros líquidos, como el alcohol, el eter, el aceite, el vinagre, el mercurio, los metales fundidos, etc., pueden tener otros cuerpos en solucion. Algunos de ellos disuelven sustancias insolubles en el agua; así el alcohol disuelve el azufre, el fósforo, la cera, que son insolubles en el agua.

532. Disolviéndose un sólido en un líquido, se necesita una porcion mínima de este líquido, para que en una cierta temperatura se disuelva una determinada cantidad de sólido. Sobre esta porcion mínima, el líquido puede aumentarse indefinidamente. La temperatura influye mucho en la cantidad de sólido, que se disuelve en la porcion mínima de líquido: en algunos cuerpos crece con la temperatura, en otros crece hasta un cierto grado, mas allá del cual disminuye; en otros crece en proporcion ascendente hasta un cierto grado, pasado el cual crece aun, pero en proporcion descendente. Por lo que toca al agua, ordinariamente cuanto es mas caliente, tanto mas disuelve, pero se esceptuan algunas sales, como la sal comun que se disuelve en igual cantidad, tanto en el agua fria, como en la caliente, aunque en esta con mas prontitud. He aquí una tabla de la solubilidad de algunas sustancias á la temperatura ordinaria.

Sustancias.	Su peso.	Peso del agua.	Sustancias.	Su peso.	Peso del agua.
Sulfato de barita. . .	1	43000	Nitrato de potasa. .	1	7,0
Clorhidrato de plata. .	1	3000	Sulfato de Zinc. . .	1	2,5
Sulfato de plomo. . .	1	1200	Sulfato de cobre. .	1	2,0
Sulfato de cal. . . .	1	500	Sulfato de hierro. .	1	2,0
Carbonato de magnesia.	1	50	Sulfato de magnesia.	1	1,0
Barita pura.	1	20	Clorhidrato de cal. .	1	1,0
Nitrato de barita. . .	1	12	Nitrato de cal. . .	1	0,25

533. Cuando un solvente ha disuelto toda la sal, que puede en una determinada temperatura, se dice *saturado* de esta sal. En tal estado si disminuye la cantidad del líquido por medio de la evaporacion, una porcion de la sal vuelve á tomar la forma sólida, quedando solamente disuelta la cantidad proporcional á la del líquido. Pero si este conserva un perfecto reposo puede suceder que esté mas que saturado y no obstante no precipite nada de sal, porque hallándose sus moléculas igualmente separadas las unas de las otras, mútuamente se impiden la union; pero la menor agitacion, que entónces sufra el líquido, bastará para que la sal sobreabundante se separe del líquido, y se precipite al fondo.

534. Aunque un solvente esté saturado de una sal, puede sin embargo disolver otra diferente sal, y esto no impide la solucion de una tercera, y luego de una cuarta, etc. Además en este caso tal vez el líquido se hace apto para disolver una nueva cantidad de alguna de las sales, de que ya estaba saturado. Así en la solucion saturada de nitro, si se disuelve sal comun, el líquido puede disolver otra porcion de nitro. Pero se observa que parte de las sales disueltas se descomponen cambiándose sus bases, de modo que en el líquido en vez de las dos sales disueltas, hay cuatro, á saber, los nitratos potásico y sódico, y los cloruros potásico y sódico, y así el fenómeno es una mera ilusion, porque habiendo quedado menor cantidad de una sal de la que puede disolver, es evidente que puede disolver una nueva cantidad. Así es que no se aumenta la solubilidad del cloruro potásico, cuando se disuelve el cloruro sódico, ni la solubilidad del nitrato potásico crece con la solucion del nitrato sódico, porque en este caso no se pueden formar nuevas sales.

535. Parece que la afinidad química es la causa de las citadas soluciones, porque el líquido se ve uniforme y trasparente, ni con las mejores lentes puede descubrirse algo de heterogéneo; pero cuando la mezcla es simplemente mecánica, las sustancias suspendidas en la masa líquida la enturbian, y al fin se precipitan al fondo.

536. Análogas son las soluciones de los líquidos en los líquidos.

Algunos se unen en cualquiera proporcion, como el agua con el alcohol, el ácido sulfúrico etc.; otros se unen en pequeñas porciones, como el alcohol y el petrólio, los aceites volátiles y el agua etc. Algunos no se combinan en ninguna proporcion, como el agua con los aceites fijos y con el mercurio. Algunos metales fundidos se unen en determinadas proporciones, como el hierro y el estaño, el plomo y el hierro; pero otros no se unen, como el zinc y el cobalto.

537. Los gases son absorbidos por los líquidos; pero en diferente cantidad; el agua absorbe una pequeña cantidad de nitrógeno, una cantidad algo mayor de oxígeno y una cantidad muy grande de amoníaco. Cuando el gas es absorbido en gran cantidad, hay desarrollo de calor, lo que indica una accion química entre el gas y el líquido. Además absorbiendo los líquidos diferentes cantidades de gas, muestran su diferente afinidad.

538. A igual temperatura, presion y pureza, el agua absorbe y conserva la misma cantidad de un gas; pero elevando su temperatura, ó disminuyendo la presion, porcion del gas abandona al líquido. Igualmente la solucion de alguna sal en el agua, la hace menos apta, para absorber los gases; de modo que parece que las sales disueltas llenan los poros de los líquidos donde penetrarian los gases. De lo que se podria inferir, que la absorcion de los gases y la solucion de los sólidos son en realidad un mismo fenómeno, cuya diferencia está únicamente, en que los unos tienden á separarse del líquido bajo forma sólida y los otros en forma de gas.

539. Los sólidos sensiblemente porosos ó pulverizados y disecados absorben y condensan los gases. El carbon de box bien disecado y privado de aire, absorbe unos 90 volúmenes de amoníaco, y poco menos de ácido clorhídrico. Absorbiendo los diferentes sólidos porosos diferentes cantidades de un gas, y un mismo sólido condensando cantidades diferentes de los distintos gases, se concluye que es diferente la atraccion entre estos cuerpos; y asi este fenómeno debe atribuirse á una accion química.

540. Finalmente muchos cuerpos atraen y absorben los vapores acuosos del aire, aun cuando no está muy húmedo, como el cloruro cálcico, el ácido sulfúrico concentrado etc. Algunas sales atraen tanta humedad, que llegan á disolverse, estas sales se llaman *delicuescentes;* otras por el contrario expuestas al aire, pierden su agua de cristalizacion, y su trasparencia, y se reducen á polvo: estas se dicen *eflorecentes.*

CAPÍTULO IX.

DEL OXÍGENO.

541. El *oxígeno* descubierto separadamente por Priestley y por Scheele en 1774, es un gas permanente, insípido, sin color, ni olor,

cuyo peso específico es 1,1056 del peso del aire. Es el gas que menos refracta la luz. El agua disuelve $\frac{1}{21}$ de su volúmen á la temperatura ordinaria. Comprimiéndolo fuertemente y con rapidez, se hace luminoso por un instante, lo que no se observa con ningun otro cuerpo. Sacándolo de sus combinaciones por medio de la pila voltaica, siempre se recoge al polo positivo.

542. El oxígeno es esencialmente propio para mantener y avivar la combustion, por lo que se llama cuerpo *comburente,* y antiguamente *aire del fuego.* Sumergido en este gas un pedacito de yesca encendido en un solo punto, inmediatamente arde con una llama muy viva. Los cuerpos combustibles como el azufre, el carbon etc., arden mas rápidamente que en el aire, y con una luz mas viva. Sumergiendo en un frasco de oxígeno un trocito de fósforo puesto en una cucharita metálica, con un pedacito de yesca encendida, se inflama el fósforo despidiendo una luz brillantísima, semejante á la del sol por su claridad y resplandor. Algunos cuerpos que no arden en el aire, sino á una temperatura muy elevada, arden facilmente en el oxígeno. Así una espiralita de hierro, que lleva en su extremidad un pedacito de yesca encendida, puesta en un vaso de oxígeno, se inflama despidiendo alrededor multitud de chispas, y se derrite en globitos encendidos que son óxido de hierro.

543. Otra propiedad esencial del oxígeno es que mantiene la respiracion de los animales, de donde le vino el nombre de *aire vital.* Encerrado un animalito en un recipiente lleno de oxígeno, conserva la respiracion por un tiempo cuatro veces mas largo, que si estuviese lleno de aire atmosférico.

544. Sometiendo el oxígeno á la accion de una serie de chispas eléctricas, ó de una corriente eléctrica contínua, adquiere nuevas propiedades, como son un olor análogo al del fósforo, ataca al mercurio y á la plata á la temperatura ordinaria, separa el iodo de los ioduros, se combina directamente con el nitrógeno etc. La temperatura de 250° ó 300° hace perder al oxígeno estas propiedades, y lo vuelve á su estado ordinario. Schoenbein que se ha ocupado mucho en el estudio del oxígeno oloroso, y que lo denominó *ozono,* supuso que el oxígeno por la accion de la electricidad se combina con otro cuerpo desconocido; pero otros químicos afirman, que por efecto de esta accion, sufre una modificacion en sus átomos, por la cual adquiere las nuevas propiedades referidas, y así es uno de los cuerpos isoméricos.

545. Los cuerpos ardiendo en el oxígeno, se combinan con él, y aumentan de peso de una cantidad igual al peso del gas consumido; esta accion se llama *combustion;* al mismo tiempo se produce un desarrollo de calor acompañado muchas veces de luz, que llamamos *fue-*

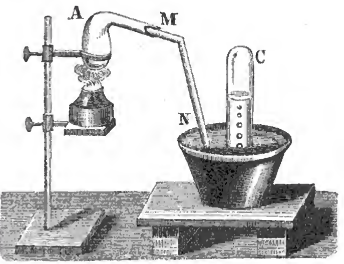
gc. Observando que en toda accion química, el calor desarrollado es tanto mayor, cuanto mas rápida y enérgica es la accion, lo que no puede suceder sin una extraordinaria agitacion molecular, y siendo esta por sí sola capaz de elevar á un alto grado la temperatura de un cuerpo, como se ve en muchísimas circunstancias, en que no interviene ninguna accion química, el fenómeno del calor y del fuego, que se desarrolla en la combustion, segun la opinion mas probable y generalmente recibida, consiste en las rapidísimas vibraciones y agitaciones, que sufren las moléculas de los cuerpos, cuando tiene lugar esta accion; y como los cuerpos pueden sufrir estas vehementes agitaciones en otras circunstancias, así el fuego puede tambien manifestarse, sin que haya combustion, ni otra accion química.

546. Algunos cuerpos se combinan con el oxígeno á una temperatura mas baja de aquella, en que se hacen luminosos; estos cuerpos continuan en oxidarse sin producir el fuego, manteniéndose solo calientes. De aquí Davy tomó ocasion de trasportar en cierto modo el fenómeno del fuego, de un cuerpo combustible á otro, que ni se oxida, ni se quema. Fíjese una espiralita de platino á la mecha de una lamparita de alcohol ó de eter, y encendida la lámpara apáguese luego con un soplo ligero: el platino conserva una temperatura mas elevada que aquella, en que comenzó la oxidacion de los vapores del alcohol, por lo que estos vapores continuan oxidándose; pero siendo el platino mejor conductor del calórico que los gases, va tomando el calor que se desarrolla en esta accion, y así poco despues se hace luminoso, y se conserva en este estado hasta consumirse enteramente el alcohol ó el eter. Lo mismo sucede calentando el hilo de platino en una corriente de gas combustible, con la sola diferencia, que siendo el gas inflamable, tambien se enciende, al encenderse el platino.

547. El oxígeno puede extraerse de muchas sustancias. Los óxidos de plata ó de mercurio calentados convenientemente dejan todo el oxígeno, y queda el radical en estado metálico. Tambien se saca del peróxido de manganeso, que calentado con el ácido sulfúrico concentrado, deja libre la mitad del oxígeno que contiene. La reaccion se representa por $MnO^2+SO^3,HO=MnO,SO^3,HO+O$. En los laboratorios se saca muy abundante por medio del clorato de potasa, que por efecto del calor se convierte en cloruro de potasio, y en oxígeno, cuya reaccion está expresada por $KO,ClO^5=KCl+O^6$. Esta cantidad de oxígeno puesta libre corresponde á cerca de 39 por 100 del peso del clorato de potasa. Al llegar á cierto punto el desarrollo del oxígeno se hace dificil, por unirse parte del oxígeno libre con el clorato aun no descompuesto, y formarse un perclorato de potasa muy dificil de descomponer; pero se facilita la descomposicion mezclando con el clorato una sexta parte de peróxido de manganeso.

548. Esta operacion, que tambien tiene lugar con pequeñas modi-

licaciones para los demás gases, se ejecuta del modo siguiente. En una retorta de vidrio A (fig. 98), se pone el peróxido de manganeso con el ácido sulfúrico, ó bien el clorato mezclado con el peróxido de manganeso. Al cuello de la retorta se adapta un tubo MN de vidrio encorvado en forma de gancho, que va á sumergirse por su extremidad dentro de una cuba de agua denominada *cuba hidroneumática*. Aplicando una lámpara de alcohol á la retorta, ó bien calentándola dentro de un baño de arena, el gas se desarrolla, y pasa por el tubo, recogiéndose en la parte superior de una campana C llena de agua, puesta sobre la extremidad del mismo tubo. Las primeras porciones de gas se desprecian, porque están mezcladas con el aire contenido en la retorta.



(Fig. 98).

CAPÍTULO X.

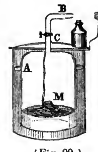
DEL HIDRÓGENO.

549. El *hidrógeno*, descubierto en el siglo décimo séptimo, es un gas permanente sin color ni olor, cuando es puro, es el mas ligero de todos los cuerpos, cuyo peso es, 0,0692 del peso de igual volúmen de aire. Es el mas refringente de todos los gases. Es sumamente inflamable, bastando para encenderlo, una chispa, ó un cuerpo encendido en un solo punto. No obstante no mantiene la combustion, pues una luz introducida en un vaso lleno de hidrógeno, se apaga inmediatamente. Finalmente es inepto para la respiracion, aunque no deletéreo.

550. La llama que produce el hidrógeno encendido en el aire es muy poco luminosa; pero se hace muy resplandeciente mezclando el chorro del hidrógeno con un chorro de oxígeno de modo que los dos chorros unidos embistan un cilindrito de cal viva ó algunos hilitos de platino. En esto consiste la luz llamada *Drumont,* que ha recibido recientemente una importante aplicacion al alumbrado. Llenos dos grandes gasómetros, el uno con oxígeno y el otro con hidrógeno, son conducidos los gases por dos tubos, que van á unirse en uno solo, delante de un terron de cal viva. En primer lugar se dirije sobre la cal el chorro de hidrógeno, que la enciende con una llama de un amarillo pálido, pocos minutos despues se abre el otro tubo, que dirige

el oxígeno, y la llama toma una brillantez comparable con la de la luz solar.

551. El platino reducido al estado de esponja, tiene la propiedad de determinar la inflamacion del hidrógeno, aun en temperaturas inferiores á cero, por lo que se ha aplicado á la lámpara de hidrógeno inventada por Gay-Lussac. Este aparato (fig. 99), se compone de un vaso A abierto por debajo, en cuya parte superior tiene un tubo estrecho BC que puede cerrarse y abrirse por medio de una llave C. Dentro del vaso está suspendido un trozo de zinc M, de modo que metido este vaso en otro que contiene agua acidulada, por la accion del ácido sobre el zinc, se descompone el agua, y el hidrógeno se recoje dentro del vaso pequeño, echando el líquido al otro vaso, preservándose así el zinc de la accion ulterior del ácido. Abriendo la llave C, sale un chorro de gas, que va á chocar contra la esponja de platino N que lo enciende, y el gas encendido enciende luego una lamparita de alcohol que tiene delante.



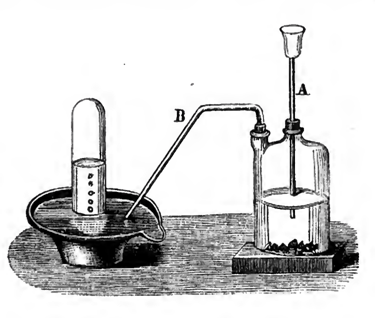
(Fig. 99)

552. Mezclando dos volúmenes de hidrógeno con uno de oxígeno, y acercando una luz á la mezcla, se produce una violenta detonacion, debida á la condensacion instantánea del vapor de agua formado al contacto del aire frio por la combinacion de los dos gases, el cual ocupando un espacio 1700 veces mayor que igual peso de agua, determina un vacío, que con ímpetu corre á ocupar el aire. Por este motivo la expresada mezcla se llama *aire tonante.* Formando burbujitas en el agua de jabon, y acercándoles una luz, se inflaman tambien con una fuerte detonacion.

553. Haciendo salir por un tubo estrecho una corriente de hidrógeno é inflamándolo, se oye un sonido musical, cuando la llama se introduce en un tubo largo de 10 á 12 pulgadas, abierto por ambas extremidades. Este fenómeno ha recibido el nombre de *armonía química*, y es producido por una serie de detonaciones, que ponen en vibracion al aire contenido en el tubo. La intensidad del sonido depende del diámetro y longitud del tubo.

554. El hidrógeno ordinariamente se extrae del agua. A este efecto introducidos dentro de un tubo de porcelana algunos alambres de hierro, á una de sus extremidades se aplica una retorta de vidrio con un poco de agua, y á la otra extremidad se adapta un tubo, que conduzca el gas al vaso que lo ha de recoger. La operacion se comienza llevando el tubo de porcelana al calor rojo, y luego se hace evaporar el agua de la retorta con la llama de una lamparita de alcohol. El vapor, pasando á través de los hilos de hierro, se descom-

pone, oxidándose el metal, y quedando libre el hidrógeno, que se recoge como se ha dicho. La reaccion es $Fe^3+4HO=Fe^3O^4+H^4$. Frecuentemente se prepara el hidrógeno, poniendo granalla de zinc y un poco de agua en un frasco de dos cuellos (fig. 100), y luego echando ácido sulfúrico por el tubo recto A, cuyo extremo llega dentro del líquido. Bajo la influencia del ácido, el agua se descompone, oxidándose el metal, y formándose inmediatamente el sulfato de zinc, que queda disuelto en la misma agua. El hidrógeno quedando así libre pasa por el tubo B y es recogido en los vasos destinados al efecto. La ecuacion siguiente representa la reaccion $Zn+HO+SO^3=ZnO,SO^3+H$.



(Fig. 100).

555. Las primeras porciones de hidrógeno salen mezcladas con el aire contenido en la retorta, y así se deben despreciar. El resto contiene siempre algo de arsénico trihídrico y de ácido sulfhídrico debidos á un poco de arsénico y de azufre, que contiene el zinc del comercio, las cuales sustancias comunican al hidrógeno un olor muy desagradable. Si en vez del zinc, se pone limadura de hierro, entónces el hidrógeno está mezclado con un poco de carburo hídrico, que forma un aceite volátil muy fétido.

556. El hidrógeno se combina con el oxígeno en la proporcion de 2 á 1 en volúmen y forma el *agua,* de donde le viene el nombre de *hidrógeno*. El agua pura que los antiguos consideraban como uno de los cuatro elementos es insípida, inodora é incolora en pequeñas masas; es líquida desde 0° hasta 100°, sólida debajo de 0°, y en estado de vapor sobre 100°: su mayor densidad es á 4°, á la cual se refiere la densidad de todos los cuerpos sólidos y líquidos: solidificándose toma el nombre de *hielo,* y su densidad es 0,94 aumentando $\frac{1}{14}$ de su volúmen. En estado de vapor su densidad es 0,62 de la del aire. No se descompone por el calor, ni ejerce accion sensible sobre los reactivos colorados.

557. El agua jamás se encuentra pura en la superficie de la tierra. La de lluvia contiene ordinariamente oxígeno, nitrógeno y ácido carbónico, y muchas veces ácido nítrico. Las aguas de los rios, manantiales y pozos, contienen casi siempre sal marina, sulfatos y carbonatos de cal y de magnesia y á veces potasa, soda y alumina; y así para obtenerla pura, es necesario destilarla por medio del alambique (693). No deben recogerse las primeras porciones del agua desti-

lada, porque arrastran consigo los cuerpos gaseosos, que contiene en disolucion, ni tampoco debe apurarse demasiado la destilacion, porque se podrian descomponer los cuerpos fijos contenidos en el agua, enturbiando la que ya se ha destilado.

558. Para ensayar la pureza del agua, se usan los reactivos siguientes; el agua de cal ó de barita, que manifiesta la presencia del ácido carbónico; el cloruro de bario, que precipita los sulfatos; el nitrato de plata, que con los cloruros da orígen á un cloruro insoluble; el oxalato de amoniaco, que precipita las sales metálicas, y el sulfato de zinc, que precipita las sustancias orgánicas. El agua, que sometida á estos reactivos, no dé el mas pequeño precipitado, y evaporada sobre una lámina de platino, no deje residuo alguno, debe considerarse como pura. Las aguas que son insípidas, disuelven el jabon, y cuecen bien las legumbres, se llaman *aguas dulces, ó potables:* los que no reunen estas circunstancias, se dicen aguas *crudas.*

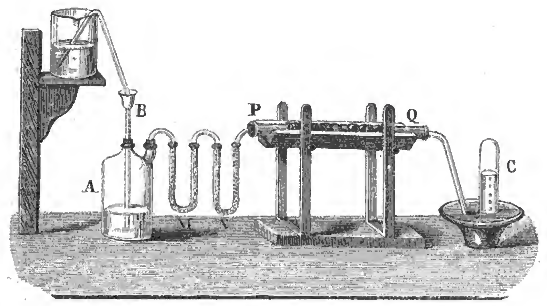
CAPÍTULO XI.

DEL NITRÓGENO Ó AZOE.

559. El *nitrógeno*, descubierto en 1772 por Rutherford, es un gas permanente, sin olor, ni sabor, ni color, algo mas ligero que el aire, cuyo peso es 0,972 del peso del aire, no mantiene la combustion, ni es apto para la respiracion, que por esto se llama tambien *azoe* del griego ζων *vida* y á privativo, pero no es deletéreo. El agua disuelve $\frac{1}{40}$ de su volúmen de este gas. Algunos químicos son de opinion, que el nitrógeno es un cuerpo compuesto de oxígeno, hidrógeno y un radical desconocido: otros lo creen compuesto de hidrógeno y silicio; y otros finalmente de oxígeno, hidrógeno y silicio.

560. El nitrógeno se suele extraer del aire encerrándolo en una campana sobre el agua con un trozito de fósforo, que encendiéndolo absorbe el oxigeno; terminada la combustion del fósforo, el volúmen del aire se ve reducido próximamente á $\frac{4}{5}$. Cuando se quiere el nitrógeno químicamente puro, por medio de un chorrito de agua, que se introduce por el tubo recto B, se hace pasar el aire contenido en un frasco A de dos cuellos (fig. 101) á través de dos tubos M,N en forma de U, y luego por otro tubo PQ colocado en un hornillo, de donde se recoge como los demás gases en el vaso C lleno de agua, en la cuba hidroneumática: en el tubo M se ponen fragmentos de pomez empapados en ácido sulfúrico concentrado, que absorbe los vapores de agua; en el tubo N hay fragmentos de pomez con potasa cáustica, que retiene el ácido carbónico contenido en el aire, y finalmente el tubo PQ está lleno de torneaduras de cobre, que al calor rojo absorben el oxígeno quedando así libre y purificado el nitrógeno.

561. El aire atmosférico fué considerado por los antiguos como uno de los cuatro elementos de la naturaleza; pero la análisis da á conocer, que está formado de oxígeno y nitrógeno en cantidades que son las mismas en todas partes: además contiene una cantidad pequeña y variable de ácido carbónico y de vapor de agua. El método mas exacto para reconocer la naturaleza del aire, es debido á M. Dumas, y es análogo al procedimiento ya descrito para obtener el nitrógeno. Se une á la extremidad Q del tubo PQ (fig. 101) un globo, en que se



(Fig. 101.)

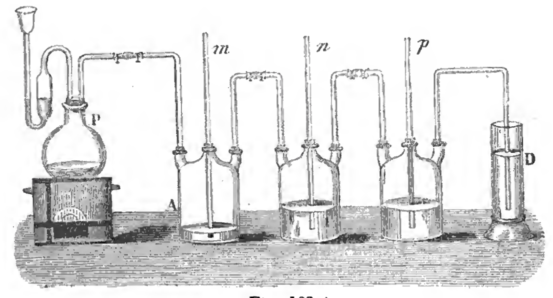
ha hecho el vacío, y el extremo del tubo M se deja al aire. Abriendo la llave del globo, el aire penetra, y el aumento del peso del tubo M, da el vapor de agua; el del tubo N hace conocer el del ácido carbónico, la oxidacion de los fragmentos de cobre da el oxígeno, y finalmente el peso del globo suministra el del nitrógeno. De este modo se reconoce que el aire consta en peso de 23,1 oxígeno, y 76,9 nitrógeno.

562. El aire atmosférico parece ser simplemente una mezcla de oxígeno y nitrógeno, y no una combinacion química de estas sustancias: 1.º porque los demás gases se combinan siempre por múltiplos en volúmen, lo que no se verifica en el aire. 2.º Mezclando los dos gases en las cantidades indicadas, se produce artificialmente el aire, y sin embargo en el acto de mezclarse, no se observa variacion alguna, ó desprendimiento de calor, ó electricidad, ó cambio de volúmen, fenómenos que acompañan siempre las combinaciones químicas. 3.º Puesto el aire en contacto con el agua, el oxígeno y el nitrógeno se disuelven en ella, segun su respectivo grado de solubilidad, por lo que siendo el oxígeno mucho mas soluble que el nitrógeno, el aire disuelto en el agua es mas rico en oxígeno, que el aire atmosférico. 4.º Finalmente el poder refringente del aire es igual á la suma de los

poderes refringentes de sus elementos, lo que tampoco se observa en ningun otro gas compuesto.

563. Fuera del aire atmosférico, el nitrógeno forma cinco compuestos con el oxígeno que son: 1.° el *óxido nitroso* NO, gas no permanente, sin color, ni olor, de un sabor algo dulce, propio para la combustion, é inepto para la respiracion. 2.° El *óxido nítrico* NO^2, gas sin color y acaso sin sabor, ni olor, pero apto para la combustion, y fatal á la respiracion: al contacto del aire da vapores rojos, trasformándose en ácido hiponítrico. 3.° El *ácido nitroso* NO^3, líquido azul, que hierve á la temperatura 0°, volatilizándose rápidamente. 4.° El *ácido hiponítrico* NO^4, líquido amarillo muy volátil, cuyos vapores tienen un color anaranjado intenso, y se une facilmente con el ácido nítrico. 5.° El *ácido nítrico* NO^5, llamado tambien *ácido azótico,* y vulgarmente *agua fuerte*, líquido sin color, fumante, cuando está recien preparado, muy corrosivo, veneno violento, que destruye los cuerpos orgánicos. Las sales que forma este ácido son todas solubles en el agua, lo que lo constituye un reactivo muy precioso para la química.

564. El nitrógeno con el hidrógeno, forma el *amoniaco* NH^3 llamado *álcali volátil*, gas no permanente, sin olor, con sabor muy cáus-



(Fig. 102.)

tico y olor vivo y penetrante, sumamente soluble en el agua, que puede contener 670 veces su volúmen de este gas. El agua saturada de amoniaco se llama *amoniaco líquido*, y tiene un volúmen doble, sus propiedades son las mismas que las del gas. El amoniaco líquido es uno de los reactivos mas usados en los laboratorios de química, y se prepara introduciendo en una retorta una mezcla en pesos iguales de cal viva y de clorhidrato de amoniaco (*sal amoniaca*), de modo que ocupe solo un tercio de la retorta, llenando lo restante con cal cáustica. La reaccion comienza inmediatamente en frio, pero luego debe activarse con un poco de fuego. El gas se recibe en una serie de fras-

cos (fig. 102) medio llenos de agua, donde se condensa; y el aparato así dispuesto tiene el nombre de aparato de Woulf. En el primer frasco se pone una pequeña cantidad de agua de cal, que absorbe el ácido carbónico y demás cuerpos estraños, que hubiese en la retorta. Los demás frascos tienen agua destilada. Siendo el agua amoniacal mas ligera que el agua pura, los tubos que conducen el gas, deben sumergirse hasta el fondo del frasco.

CAPÍTULO XII.

DEL CLORO, FLUOR, BROMO Y IODO.

565. El *cloro* descubierto por Scheele en 1774 es un gas no permanente, de color verde amarillo, como indica su nombre griego χλωρος, tiene un olor fuerte y sufocante que impide la respiracion, daña al pecho y á la cabeza, y respirado puro es mortal: destruye casi todos los colores vejetales, descompone las materias orgánicas, lo que lo hace útil para desinfectar el aire, blanquear el hilo y el papel, y para quitar las manchas. Los polvos de muchos metales sumergidos en este gas se inflaman á la temperatura ordinaria y se combinan con él. Es soluble en el agua, que puede contener tres volúmenes, y esta disolucion llamada *agua clorada*, tiene todas las propiedades del gas. Esta disolucion se descompone con la luz solar, y así se debe conservar en vasos de vidrio azul, ó cubiertos de papel negro. El cloro se extrae calentando con moderado calor en una retorta dos partes de ácido clorhídrico con una de peróxido de manganeso, cuya reaccion es $MnO^2+2HCl=MnCl+2HO+Cl$. Tambien se saca mezclando 4 partes de sal comun, 2 de peróxido de manganeso, 2 de ácido sulfúrico y 2 de agua, cuya reaccion está representada por $NaCl+MnO^2+2SO^3+2HO=NaO,SO^3+MnO,SO^3+2HO+Cl$. El gas se recoge en vasos llenos de agua salada para que no sea absorbido, y si se quiere el agua clorada, se hace uso del *aparato de Woulf* (fig. 102). En el primer frasco A queda el ácido clorhídrico que pudiera arrastrar la corriente de gas, y en los demás frascos se condensa el cloro: la probeta D, que contiene una disolucion alcalina está destinada á absorber el exceso de cloro: los tubos *m*, *n*, *p* de seguridad impiden la absorcion, y dejan entrar el aire en caso que en el interior del aparato se hiciese una disminucion de presion. Finalmente el tubo en S del matracito P, en que se contienen las sustancias, que deben reaccionar, sirve para introducir el ácido clorhídrico, ó bien el ácido sulfúrico segun los procedimientos descritos.

566. El *fluor* es un gas sin color ni olor, análogo al cloro por sus propiedades. Tiene grandísima afinidad con todos los cuerpos, de lo que proviene la dificultad de aislarlo, porque en estado naciente se combina con la materia del vaso destinado á contenerlo. Se obtiene

descomponiendo el fluoruro de plata por medio del cloro en vasijas de espato fluor.

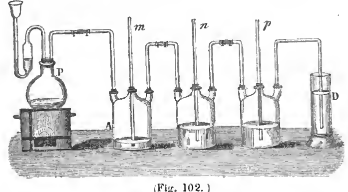
567. El *bromo* descubierto por Balard en 1826 es un líquido rojo, muy cargado, venenoso, de un olor muy fétido, de donde le viene el nombre: es muy volátil y sus vapores se asemejan á los del ácido hiponítrico, su sabor es fuerte y áspero, ataca los órganos respiratorios, destruye las materias colorantes, y finalmente es muy soluble en el alcohol y en el eter, pero poco en el agua. Este cuerpo se extrae del bromuro del potasio por medio del peróxido de manganeso y del ácido sulfúrico diluido en agua.

568. El *iodo* descubierto por Courtois en 1811, es un sólido cristalino de aspecto metálico, tiene un olor análogo al bromo, sus vapores son de un color morado muy hermoso, de donde le viene su nombre, que en griego significa *violeta*. Ejerce una accion destructiva sobre muchas sustancias orgánicas, y es un veneno muy activo. Es muy soluble en el alcohol y en el eter y poco en el agua. Evaporando un pedacito de iodo sobre una lámina de cobre bien límpia, forma unos anillos colorados semejantes al *iris*, que poco á poco desaparecen bajo la accion de la luz; pero si la lámina ha recibido un velo de cloruro de oro, como se suele hacer para fijar los retratos daguerrianos, entonces no se gastan, y los colores son mas vivos. Este cuerpo se extrae de ciertas plantas marinas.

569. El cloro, el fluor, el bromo y el iodo, tienen entre sí muchas analogías. En primer lugar tienen una grande afinidad con la mayor parte de los cuerpos á la temperatura ordinaria, mientras que los demás metaloides, necesitan una temperatura elevada. Además los compuestos que hacen con el oxígeno son todos ácidos, aunque muy débiles, y enteramente análogos los de análoga composicion. La tabla siguiente manifiesta la analogía de estas combinaciones, en la que las líneas ocupadas por puntos, indican las composiciones respectivas que aun no se conocen.

DEL CLORO.	DEL BROMO.	DEL IODO.
Ac. hipocloroso=ClO líquido.	Ac. hipobromoso=BrO.	. . . .
. . . .	. . . .	. . . .
Ac. cloroso=ClO^3 gas.	. . . .	Ac. iodoso=IO^3.
Ac. hipoclórico=Clo^4 líquido.	. . . .	Ac. hipoiódico=IO^4 sólido.
Ac. clórico=ClO^5 líquido.	Ac. brómico=BrO^5 líquido.	Ac. iódico=IO^5 slóido.
. . . .	. . . .	. . . .
Ac. perclórico=ClO^7 sólido.	. . . .	Ac. periódico=IO^7 sólido

570. Estos cuatro cuerpos forman con el hidrógeno una sola composicion cada uno. Estos compuestos llamados ***hidrácidos*** son ácidos de los mas poderosos, que conoce la química: todos son gases, que el agua absorbe 480 veces su volúmen, formándose un líquido de doble volúmen del agua empleada, el cual tiene todas las propiedades del gas. Estos compuestos son muy venenosos y corrosivos, en particular el ácido fluorhídrico. Estos ácidos al quererlos combinar con una base, se descomponen formando agua y una sal aloidea; por ejemplo $HCl+KO=HO+KCl$. El ácido clorhídrico, el mas interesante de ellos por su empleo en la industria, se obtiene en disolucion con el aparato de Woulf (fig. 102), poniendo en el matraz P seis partes de sal comun bien seca y cinco de ácido sulfúrico monohidrato que se introduce por el tubo en S. La reaccion tiene lugar inmediatamente; pero luego debe activarse con un poco de fuego. La ecua-



(Fig. 102.)

cion $NaCl+SO^3,HO=NaO,SO^3+HCl$, representa la reaccion. El líquido del primer frasco A contiene siempre cloruros volátiles y ácido sulfúrico, arrastrados por el gas; pero en los demás frascos el ácido es puro. Como la disolucion de este ácido es mas pesada que el agua, los tubos de conduccion deben sumergirse muy poco. Si se quisiese el ácido clorhídrico en estado de gas se deberia recoger sobre el mercurio, que no ejerce ninguna accion sobre él.

571. Los cuatro hidrácidos de que se ha hablado mezclados con el ácido nítrico forman un líquido llamado *agua régia*, porque solamente en él se disuelven los metales preciosos, como el oro y el platino. Ordinariamente se forma el agua régia, mezclando una parte de ácido nítrico, con tres ó cuatro partes de ácido clorhídrico.

572. El nitrógeno combinándose con los cuerpos alógenos forma los compuestos NCl^3 líquido oleoso, NBr^3 líquido oleoso, NI^3 sólido, todos tres muy expuestos á violentas explosiones, sobre todo el último,

lo que los hace muy peligrosos. Tambien los mismos cuerpos alógenos combinándose entre sí forman el cloruro brómico, el cloruro iódico, los bromuros iodoso y iódico, las cuales sustancias disueltas en el agua sirven de sustancias aceleratrices de la accion de la luz en las operaciones fotográficas.

CAPÍTULO XIII.

DEL AZUFRE, SELENIO Y TELURO.

573. El *azufre* es un sólido muy frágil, amarillo, insípido y sin olor, pero frotándolo despide un olor propio suyo, es mal conductor del calor y de la electricidad, se derrite á la temperatura de 111°, y se mantiene líquido por mucho tiempo; en este estado echándolo en el agua, se obtiene una masa blanda que no se endurece, sino despues de algun tiempo: á la temperatura de 440° pasa al estado aeriforme, y en los vapores que despide que son de color anaranjado, arden varios metales, como en el oxígeno, y algunos que no arden en él, tales como la plata, el cobre, etc. Cuando arde, despide una luz azul con olor sofocante, y al mismo tiempo se combina con el oxígeno del aire. Frotando el azufre en la oscuridad sobre un cuerpo caliente, da una débil llama azul, que no es efecto de una combustion, como lo demuestran las *flores de azufre*, ó sea los vapores condensados sobre un cuerpo frio que esté encima.

574. El *selenio* descubierto por Bercelio en 1817 es un sólido rojo, de lustre metálico, frágil y poco duro, mal conductor del calórico y de la electricidad, es insoluble en el agua, cuando arde despide un olor muy fétido propio suyo. Este cuerpo es muy semejante al azufre, por sus propiedades físicas y químicas.

575. El *teluro* descubierto por Müller de Reschenstein en 1782, es un sólido blanco argentino, muy brillante, que fácilmente se pulveriza como el azufre y el selenio, con quienes tiene muchas propiedades comunes. Calentado en el aire se enciende y arde con una llama muy viva de color azul, despidiendo un humo blanco algo acidulado.

576. Las combinaciones que el azufre, el selenio y el teluro forman con el oxígeno y con los demás cuerpos, tienen entre sí mucha analogía, siendo de análoga composicion. Entre las combinaciones oxigenadas merecen citarse por su importancia industrial los ácidos sulfuroso y sulfúrico. El *ácido sulfuroso* es un gas, que se forma ardiendo el azufre en el aire, blanquea las sustancias animales, y destruye los colores vejetales. El *ácido sulfúrico* es un líquido oleoso, cuando es monohidrato, SO^3,HO conocido tambien con el nombre de *aceite de vitriolo:* es uno de los ácidos mas enérgicos; destruye un

gran número de materias orgánicas, apoderándose del agua que contienen, descompone rápidamente las membranas animales, y obra como un veneno violento. El ácido sulfúrico puede obtenerse anhidro y en este estado es sólido á la temperatura ordinaria. Existe tambien el ácido sulfúrico segun la fórmula $(SO^3)^2HO$ llamado de Nordhausen, líquido que suele tener un color bruno, es fumante y puede cristalizar á la temperatura ordinaria, disuelve el añil con mucha mayor facilidad que el ácido sulfúrico ordinario, y así se emplea con preferencia en la industria.

577. El azufre, el selenio y el teluro forman con el hidrógeno un ácido cada uno, gases todos muy deletéreos, que despiden un olor múy fétido y nauseante, parecido al de los huevos podridos. El ácido sulfhídrico, que es el mas importante de los tres, es un reactivo muy usado en química, y se obtiene disolviendo el sulfuro de hierro con el ácido sulfúrico, ó bien una parte de sulfuro de antimonio con cuatro de ácido clorhídrico, á un moderado calor; el gas se recoge sobre el agua salada, ó bien se hace disolver en el agua destilada con el aparato de Woulf, constituyendo entonces el *ácido sulfhídrico líquido*, llamado tambien *agua hidrosulfurada*, que tiene las mismas propiedades que el gas. Su reaccion es la siguiente $Sb^2S^3+3HCl=Sb^2Cl^3+3HS$. Echando un chorrito de este ácido en una disolucion de sales metálicas, precipitan los metales en estado de sulfuros, presentando colores característicos, por los cuales se reconocen; el zinc precipita en polvo blanco, el plomo ó la plata en polvo negro, el antimonio en anaranjado, etc. Por lo demás este gas es uno de los mas deletéreos y ejerce una accion muy violenta sobre la economía animal El aire que contiene $\frac{1}{1500}$ de su volúmen mata á un pájaro que lo respire, y si contiene $\frac{1}{250}$ llega á matar un caballo en menos de un minuto. A este gas se debe la asfixia que sufren los que limpian las cloacas.

CAPÍTULO XIV.

DEL FÓSFORO Y DEL ARSÉNICO.

578. El *fósforo* así llamado por la propiedad que tiene de dar luz en la oscuridad fué descubierto en 1669 por Brand. Es un sólido algo trasparente y amarillo, su olor se asemeja al del ajo. Es flexible como la cera á temperatura ordinaria, se funde á 44° y hierve á 290°. Ardiendo en el oxígeno despide una luz émula de la del sol. Escribiendo con un bastoncito de fósforo, las letras ó figuras son visibles en la oscuridad. El agua en que se conserva el fósforo, es tambien luminosa en la oscuridad cuando se agita. Se disuelve abundantemente en el sulfuro de carbono, y un papel mojado en esta solucion,

se enciende luego que el sulfuro de carbono se ha evaporado. Expuesto el fósforo á la irradiacion solar en gases que no lo alteren químicamente, como por ej. en el hidrógeno, toma un color rojo, sin alterar su peso, y en este estado parece tener diversas propiedades de las que antes tenia, como son de no alterarse en el aire, de ser insoluble en el sulfuro de carbono, de no inflamarse con el choque, sino en contacto con una sustancia oxidante, como el clorato de potasa, y de no desprender vapores. El fósforo rojo es *amorfo*, y se obtiene calentando el fósforo ordinario por algunas horas á la temperatura de 150° al abrigo del aire.

579. Puesto el fósforo en el aire, se combina lentamente con el oxígeno, despidiendo un humo blanco luminoso en la oscuridad, que es el *ácido fosforoso* PhO^3. Ardiendo se convierte en *ácido fosfórico* PhO^5, que es un humo blanco muy denso solubilísimo en el agua. Tambien se combina el fósforo con el hidrógeno en muchas proporciones, entre las cuales la mas notable es el *hidrógeno fosforado* PhH^3, por la propiedad que tiene de inflamarse espontáneamente al contacto del aire. Es un gas sin color, de olor parecido al del ajo, muy fétido y característico. Haciendo salir este gas del agua en burbujitas, estas se inflaman con pequeña explosion, dejando una hermosa corona de humo blanco, que se vá ensanchando á medida que se eleva. Introduciendo estas burbujas en un recipiente lleno de oxígeno, se inflaman de un modo brillante. Este gas se desarrolla naturalmente en lugares de putrefaccion de sustancias animales, como cementerios etc. lo que muchas veces ha sido causa de terror. Artificialmente se extrae echando fosfuro de calcio en el agua, el oxígeno de esta se une al calcio, y el hídrogeno al fósforo. Tambien se saca formando bolitas de cal empastada con agua, en cuyo interior se pone un trocito de fósforo: poniendo estas bolitas en un matracito, y calentándolo con moderado calor, el gas se desarrolla. Tambien se combina el fósforo con los cuerpos alógenos y con el azufre, cuyos compuestos estan muy expuestos á violentas explosiones.

580. El *arsénico*, conocido de mucho tiempo, es un sólido que presenta el aspecto brillante del acero, cuando está pulimentado, facilmente se pulveriza, no tiene sabor ni olor; pero calentado hasta 280° se volatiliza sin fundirse, y produce un humo blanco que tiene un olor análogo al del fósforo: sus vapores se deponen siempre bajo forma de cristales. Esta sustancia es un veneno terrible, y tomada por un animal puede no producir el envenenamiento, sino despues de mucho tiempo. Generalmente todos los compuestos que forma son venenosos.

581. El arsénico forma diferentes compuestos, todos análogos á los del fósforo. Con el oxígeno forma el *ácido arsenioso* AsO^3, llamado impropiamente *arsénico blanco*, muy empleado en las artes, principalmente en la pintura. El *ácido arsénico* AsO^5 es un sólido blanco muy

soluble en el agua, análogo al ácido fosfórico. Con el hidrógeno forma el gas *hidrógeno arseniado* AsH^2, que tiene un olor muy fétido, muy incómodo, y que respirado aun en pequeña cantidad en el aire, es mortal.

582. Con el azufre forma el arsénico varios compuestos, de los cuales los principales, son el *trisulfuro de arsénico* llamado *orpimento* AsS^3, de un hermoso color amarillo, que sirve para la pintura: y el *bisulfuro de arsénico* AsS^2 conocido con el nombre de *realgar* de color de rosa, que además de ser empleado como materia colorante, sirve para la preparacion del fuego llamado de *bengala*, que se compone mezclando dos partes de realgar, veinte y cuatro de nitro y siete de flores de azufre.

CAPITULO XV.

DEL CARBONO, DEL BORO, Y DEL SILICIO.

583. El *carbono* es un sólido, que forma en su totalidad la piedra preciosa llamada *diamante*, fuera del cual no se conoce puro, ni el arte posee medio alguno de prepararlo. El diamante ordinariamente no tiene color, pero algunas veces es amarillo, ó roseo, ó verde, y aun negro. Es un cuerpo durísimo, pues raya todos los cuerpos, y por ninguno es rayado, á escepcion del boro, con quien tiene comunes muchas de sus propiedades, y así se labra con sus propios polvos. Entre los cuerpos diáfanos es el que mas refracta la luz, no se ha podido aun obtener en estado líquido. Despues del diamante el carbon mas puro es el *grafito*, sigue la *plombagina*, que contiene 96 por 100 de carbono, luego la *antracita*, el *negro de humo*, el *carbon de piedra*, el *carbon vegetal*, y el *carbon animal*, que contiene 12 por 100 de carbon mezclado con 88 de fosfato y carbonato de cal. El carbon tiene la propiedad de quitar el color de muchas sustancias filtrándolas por él, y en particular el carbon animal, que es el que posee esta propiedad en el grado mas alto, por lo que es empleado en la fabricacion del azúcar.

184. El carbono combinándose con el oxígeno forma dos compuestos notables, el óxido de carbono y el ácido carbónico. El *óxido de carbono* CO es un gas permanente, insípido, inodoro, é incoloro, apaga los cuerpos en combustion, y asfixia los animales que lo respiran, obrando como un verdadero veneno, y á este gas deben atribuirse los dolores de cabeza, que se sienten, acercándose á un brasero en una habitacion poco ventilada. El *ácido carbónico* CO^2 es un gas mas pesado que el aire, contrario á la combustion y fatal á la respiracion: su densidad de 1,529 de la del aire permite pasarlo de un vaso á otro,

como si fuese un líquido. Por la misma razon sumergida en este ácido una mecha, que aun humea, se puede ver la llama encima separada de la mecha de alguna pulgada. Se extrae del mármol con el ácido sulfúrico y mejor aun con el ácido clorhídrico, que forma el cloruro cálcico, muy soluble, quedando libre el ácido carbónico, que se recoge como los otros gases en la cuba hidroneumática.

585. Tambien se une el carbono con el hidrógeno en muchas proporciones, que casi todas pertenecen á los cuerpos orgánicos y forman aceites volátiles. Dos de estas combinaciones son gases inflamables á saber, el *protocarburo hídrico* C^2H^4, llamado *gas de los pantanos*, porque se desarrolla en lugares cenagosos, y abunda tambien en las minas de carbon fosil; y el *bicarburo hídrico* C^4H^4 denominado *gas olefiante*, que forma la parte principal del gas que sirve al alumbrado. Este gas es incoloro, insípido, de un olor etéreo, poco soluble en el agua, y arde con una llama muy clara y brillante: se obtiene calentando lentamente hasta hervir en una retorta de vidrio, una parte en peso de alcohol rectificado, con cuatro partes de ácido sulfúrico concentrado.

586. El gas del alumbrado proviene de la destilacion de la ulla, de la descomposicion de la resina ó del aceite, y de la mayor parte de las materias orgánicas, por medio de una temperatura elevada: el gas obtenido está mezclado con muchas otras sustancias gaseosas de las cuales se le separa, haciéndole pasar por tubos convenientemente dispuestos, que comunican con un recipiente cilíndrico llamado *condensador*, en cuyo paso, enfriándose, se depositan las sales amoniacales, la brea, y parte de los aceites empireumáticos: desde el condensador pasa á otro depósito, que se llama *depurador*, que contiene una lechada de cal, que le quita el ácido carbónico, el hidrógeno sulfurado y otros: finalmente se hace pasar el gas á grandes gasómetros, desde donde por cañerías de hierro se dirige á los puntos, donde ha de arder.

587. El carbono combinándose con el nitrógeno, forma el *cianógeno* C^2N, gas sin color, de un olor característico, penetrante, que afecta sumamente á los ojos, y es fatal á la respiracion. El cianógeno descubierto por Gay-Lussac en 1814 ofrece el ejemplo de un radical compuesto, que presenta las propiedades de un cuerpo simple análogo al cloro, al bromo y al iodo, en sus combinaciones con el oxígeno, hidrógeno, y demás cuerpos, de modo que se tomaria por un cuerpo simple, si su formacion y descomposicion, no hiciesen conocer su verdadera naturaleza. Como los cuerpos alógenos, forma un hidrácido, que es el ácido cianhídrico HC*y* (C*y* representa el cianógeno) llamado vulgarmente *ácido prúsico*, líquido sin color y muy venenoso, cuyo contra-veneno es el amoníaco aplicado en el acto. Se disuelve en el agua en todas proporciones, y su disolucion tiene un gusto amargo, y un olor como de almendras amargas.

588. Finalmente el carbono se une en muchas proporciones con el azufre, de las cuales la principal es el *sulfido carbónico* CS^2 llamado tambien *sulfuro de carbono,* líquido sin color, oleoso, de un olor fétido análogo al del ácido sulfhídrico; se disuelve en el alcohol, pero no en el agua, es muy combustible, de modo que se inflama á una distancia muy grande, acercándole un cuerpo encendido. Este líquido ha recibido recientemente muchas aplicaciones en la industria.

589. El *boro* descubierto simultáneamente por Davy, Gay Lussac y Thenard en 1809, es un polvo bruno, que se extrae del ácido bórico, única combinacion que forma con el oxígeno. Este cuerpo es infusible aun en temperaturas elevadísimas, pero con una pila de Bunsen de 600 elementos, se ha fundido en un globito negro, brillante y muy duro. Recientemente M. Deville lo ha obtenido en tres estados distintos, uno de los cuales es en cristales límpidos, refrangibles como el diamante, y tan duros que lo rayan. El boro se combina con los demás metaloides y entre estas combinaciones la principal es, por su importancia, el *ácido bórico* BO^3 que se presenta en forma de cristales laminares, sin color, ni olor, y de un débil sabor. Este cuerpo sirve para la preparacion del borraj y entra en la composicion de ciertos vidrios.

590. El *silicio* obtenido puro por Bercelio, se asemeja mucho al boro por sus propiedades físicas: es un polvo algo mas brumo que el boro y aun menos fusible que él, es insoluble en el agua, facilmente se inflama en el aire, cuando no ha sido calcinado; pero calcinado no arde ni en el aire, ni en el oxígeno, y es inalterable al soplete. Tambien este cuerpo ha sido obtenido por Deville en tres variedades como el boro y el diamante, una de las cuales es absolutamente inatacable por los ácidos. Combinado el silicio con el oxígeno forma la *sílice* SiO^3, que en su mayor pureza constituye el *cristal de roca,* ó *cuarzo* sustancia muy abundante en la naturaleza.

CAPÍTULO XVI.

DE LOS METALES EN GENERAL.

591. Todos los metales á la temperatura ordinaria se presentan en estado sólido, á escepcion del mercurio que es líquido: su color en general es blanco gris, pero el oro, el cobre y el tántalo son amarillo-rojizos. Casi todos tienen un brillo ó lustre metálico, que pierden reduciéndolos á polvo muy fino: todos son ópacos y á escepcion del potasio, sodio y litio, son mas pesados que el agua. La mayor parte no tiene olor ni sabor; pero algunos pocos, como el hierro, estaño, plomo y cobre frotándolos, desprenden un olor y sabor desagradables. Finalmente todos son buenos conductores del calor y de la electricidad, aunque en grado muy diferente.

592. Ciertos metales se combinan con el oxígeno á cualquiera temperatura, otros necesitan una temperatura algo elevada, otros no se combinan con él en ninguna temperatura, aunque por medios indirectos se consigue su combinacion. Así tambien algunos metales por la grande afinidad que tienen con el oxígeno, descomponen el agua en todas temperaturas; pero otros no la pueden descomponer sino á una temperatura elevada, ó en presencia de ácidos, y finalmente otros no la descomponen de ninguna manera.

593. Por razon de esta propiedad se han dividido los metales en diferentes secciones: pero para conciliar la brevedad en su descripcion se clasificarán en cuatro solamente, á saber: 1.ª Metales alcalinos. 2.ª Metales alcalino-terrosos. 3.ª Metales terrosos y 4.ª metales propiamente dichos.

CAPÍTULO XVII.

DE LOS METALES DE LAS TRES PRIMERAS SECCIONES.

594. Los metales *alcalinos*, así llamados porque sus óxidos llevan el nombre de *alcalis*, son el potasio, el sodio, el litio, el rubidio y el cesio. Davy obtuvo los tres primeros en estado libre por medio de la accion de la pila de Volta. Posteriormente M. Bruner ha obtenido el potasio y el sodio en mayor cantidad, descomponiendo el carbonato de potasa ó de soda, con el carbon á una temperatura muy elevada. Recientemente Mr. Deville ha obtenido el sodio en cantidades mucho mayores, que producirán una disminucion notable en el precio de esta sustancia. El rubidio y el cesio descubiertos recientemente por M. Bunsen por medio de la análisis espectral tienen grande analogía con el potasio.

595. El *potasio*, es un sólido de lustre metálico mas blando que la cera, muy ligero, es sumamente oxidable, y por este motivo se debe conservar dentro del aceite de nafta: echado en el agua, da una llama muy viva, y al mismo tiempo se combina con el oxígeno del agua, formando la potasa KO, que queda disuelta en el agua. La potasa es blanca, cáustica, muy alcalina, untuosa al tacto, y desarrolla un olor que es el de la lejía: ataca al vidrio y á la porcelana. El *sodio* es tambien un sólido blanco, de lustre metálico, blando como la cera, muy análogo al potasio en sus propiedades. Unido al oxígeno, forma la soda NaO, y con el cloro, la sal gema, ó sal comun $NaCl$. El *litio* obtenido por M. Troost en pequeños glóbulos, es blanco, inalterable al aire, cuya densidad 0,59 le hace el mas ligero de todos los sólidos y líquidos. Sus propiedades son muy análogas á las del sodio. Con el oxígeno forma la litina LiO, sólida, blanca, y de un sabor muy cáus-

tico. El cesio segun M. Buusen es mas electro-positivo que el rubidio y ambos á dos lo sou mas que el potasio.

596. Combinándose la potasa con diferentes ácidos, resultan sales de las cuales las mas interesautes son; 1.° el *carbonato* KO,CO^2, llamado tambien *sal de tártaro*: sirve para la fabricacion del jabon blando: 2.° el *nitrato* KO,NO^5, conocido con el nombre de *sal nitro*; se emplea en la preparacion de los ácidos nitrico y sulfúrico, y en la composicion de la pólvora, que es una mezcla en partes determiuadas de nitrato de potasa, azufre, y carbon. Calentaudo en una cuchara una mezcla de tres partes de uitro, dos de potasa y una de azufre, la masa primero entra en fusion, y luego detona con violencia, por cuyo motivo dicha mezcla se llama *pólvora detonante*. 3.° El clorato KO,ClO^5, muy usado en los laboratorios químicos. 4.° El *sulfato* KO,SO^3 que sirve en la fabricacion del alumbre.

597. Así tambien la soda forma varias sales, de las cuales el *bicarbonato* NaO,CO^2 se emplea en la fabricacion del jabon duro, y del vidrio, y en muchas operaciones de tiutorería. El *borato de soda* NaO,BO^3 ó sea el borraj, sirve para la reduccion de un gran número de óxidos, ya solo, ya mezclado con el carbon, y toma diferentes colores, por cuyo medio se reconoce la naturaleza del óxido; sirve tambien para soldar los metales oxidables, y finalmente se emplea en la fabricacion de los vidrios mas fusibles. El *nitrato de soda* NaO,NO^5 se emplea eu los fuegos artificiales, y finalmente el *sulfato de soda*, NaO,SO^3 cuyos usos son importantísimos: su grande solubilidad lo hace apto para la produccion del frio en las mezclas frigoríficas (685).

598. Los metales *alcalino-terrosos* así llamados porque participan á la vez de las propiedades de los alcalis y de las tierras son el bario, el estroncio y el calcio, los cuales se extraen tambien de sus óxidos por medio de pila de Volta. El *Bario* presenta el color y lustre de la plata, se oxida rápidameute en el aire, formando la barita BaO, sustancia muy venenosa y sumamente cáustica. El *estroncio* tiene un lustre metálico muy débil, y eu sus propiedades se asemeja mucho al bario. Combinado con el oxígeno forma la estronciana StO, cuerpo análogo á la barita, pero no tan venenoso. El *calcio* es un metal blanco parecido á la plata: en el aire rápidamente se trasforma en su óxido CaO, que es la *Cal*, una de las sustancias mas importautes, y al mismo tiempo mas abundantes de la naturaleza. La cal anhidra se conoce con el nombre de *cal viva;* cuando se ha reducido á polvo absorbiendo el agua, es monohidrata, y se llama *cal muerta*, la cual tenida en suspension en el agua, constituye la *leche de cal*. Esta sustancia se obtiene calciuando el carbonato de cal en hornos coustruidos para este efecto, con lo que se separa el ácido carbónico: si el carbonato es puro, la cal obtenida se llama *grasa*, si contiene mucha magnesia ú otras sustancias, da la cal *magra;* y si contiene un

25 por 100 de arcilla, produce la cal *hidráulica* así llamada, porque se endurece con la accion del agua. La cal, que jamás se halla aislada, combinándose con el ácido carbónico, constituye las infinitas variedades del carbonato de cal, y mezclada con otras materias forma las piedras calcáreas, las margas, etc. Con el ácido sulfúrico constituye el *yeso*.

599. Los metales *terrosos*, así llamados porque sus óxidos son tierras, son el magnesio, que tiene color y lustre, de plata, el aluminio, el glucinio y el torio, que tienen mucha semejanza y analogía entre sí: el zirconio, el itrio, el erbio, el terbio, el cerio, el lantano y el didimio que son muy escasos, y algunos apenas conocidos; y finalmente el manganeso que tiene un débil lustre metálico y es fragilísimo. El mas interesante de todos estos cuerpos en estado puro es el aluminio, metal blanco, brillante, muy sonoro, fusible á 1000°, laminable y maleable, inoxidable á la temperatura ordinaria. Diez partes de aluminio unidas á noventa de cobre, forman un *bronce* llamado de *aluminio*, cuya resistencia es igual á la del acero.

600. Estos metales unidos al oxígeno forman óxidos, de los que los principales son 1.° la magnesia MgO, sustancia pulverulenta, blanca, insípida, y sin olor; combinada con los ácidos forma sales amargas. 2.° La alumina Al^2O^3, que cuando es pura y cristalizada, forma la piedra preciosa llamada *corindon*. Si el corindon es azul, se dice *zafiro;* si es rojo, toma el nombre de *rubí oriental;* el verde constituye la *esmeralda oriental;* y el amarillo el *topacio*. El *esmeril* no es otra cosa que el mismo corindon, que contiene una cierta cantidad de hierro. Finalmente unida la alumina con la sílice forma la *arcilla*, sustancia muy abundante en la naturaleza. Unida la arcilla al carbonato de cal, y á la arena, constituye la gran variedad de terrenos, y las tierras llamadas *margas*. 3.° El peróxido de manganeso MnO^2 que sirve para la preparacion del oxígeno y del cloro, y en varias industrias, principalmente en la fabricacion del vidrio.

CAPÍTULO XVIII.

DE LOS METALES PROPIAMENTE DICHOS.

601. Entre los metales propiamente dichos, bastará hacer mencion de los que tienen un mayor interés por su aplicacion á los usos de la sociedad y á la industria. De todos ellos el mas importante es el *hierro* conocido desde la mas remota antigüedad. Este cuerpo en su mayor pureza es de un color gris, azulado, brillante, dúctil y el mas tenaz y duro de los metales: ordinariamente se halla combinado con otros cuerpos, de los cuales se extrae, fundiendo el mineral

con carbon, acompañado tal vez de un fundente: así reducido constituye la *fundicion*, la cual expuesta á una elevada temperatura, en contacto del aire pierde el carbon, y el hierro obtenido puede ser forjado por la accion del martillo. El hierro unido al oxígeno forma el *sesquioxido* Fe^2O^3 llamado *colcotar* y *rojo de Inglaterra;* este óxido unido al protoxido, da el *óxido de hierro magnético* Fe^3O^4, ó sea la *piedra iman*. El protoxido combinado con el ácido sulfúrico forma el sulfato de hierro FeO,SO^3 vulgarmente llamado *caparrosa verde* del color que tiene. Finalmente unido el hierro á un centésimo apenas de carbon, forma el *acero*.

602. El *zinc*, descubierto en 1540 por Paracelso, es de un color blanco azulado, quebradizo á la temperatura ordinaria, pero se hace maleable y dúctil á la temperatura de unos 130°; es muy oxidable y arde con una luz blanca muy brillante. Forma varias sales que todas son venenosas, de las cuales la principal es el *sulfato de zinc* ZnO,SO^3 conocido con el nombre de *caparrosa blanca*.

603. El *níquel* descubierto por Cronstedt en 1751 es de un color blanco de plata, inalterable al aire, dúctil y maleable, y muy refractario: es atraido por el iman, pero pierde esta propiedad á la temperatura de 250°, entra en la composicion de una aleacion muy conocida llamada *argentana*, que se compone de 50 de cobre, 25 de níquel, y 25 de zinc.

604. El *estaño* conocido de toda la antigüedad, es tambien de color blanco parecido al de la plata, de un sabor y olor característicos, maleable, pero poco tenaz, y de los menos elásticos; doblándolo, hace oir un crujido particular, llamado *crujido de estaño*. Sumergiendo una lámina fina de hierro en el estaño fundido se obtiene la *hoja de lata*.

605. El *plomo*, metal llamado antiguamente *saturno*, tiene un color pardo azul, es muy blando y maleable, pero poco tenaz. Con el oxígeno forma el *litargirio* que es el *protóxido* PbO que ha sido fundido, y el *minio* de un hermosísimo color encarnado, cuya composicion mas ordinaria es, $2PbO,PbO^2$. El óxido de plomo unido al ácido carbónico forma el *carbonato* PbO,CO^2 muy empleado en la pintura con los nombres de *blanco de plata*, albayalde y *cerusa*. La cerusa molida con una pequeña cantidad de aceite de linaza forma el *betun de vidrieros*. Partes iguales de cerusa, minio y aceite de linaza forman un betun, que con el tiempo adquiere la dureza de la piedra.

606. El *antimonio* es de un blanco azulado, como el zinc, muy brillante, quebradizo, facilmente se reduce á polvo, frotándolo despide un cierto olor: es un cuerpo muy venenoso. El antimonio se conserva sin alteracion en el aire y en el agua á la temperatura ordinaria. Arde con gran vivacidad, lanzando por todas partes chispas muy brillantes.

607. El *cobre*, conocido de la mas remota antigüedad, tiene un

color rojo-pardo, muy brillante, muy dúctil y maleable y despues del hierro es el mas tenaz de los metales ; frotándolo entre los dedos despide un olor desagradable. Es el mas sonoro de todos los metales. El cobre uniéndose al zinc, forma el *laton* y el *similor*, y unido en diferentes cantidades con el estaño, constituye el bronce de los cañones, ó de las campanas, y el metal de los *tantanes*. Los instrumentos de física suelen hacerse del metal compuesto de 97 de cobre, 2 de zinc y uno de arsénico. Finalmente el protóxido de cobre combinado con el ácido sulfúrico, forma el *sulfato* CuO,SO^3, conocido con los nombres de *vitriolo* de *chipre* y *caparrosa azul*, por el color hermoso que presenta.

608. El *mercurio* es el solo metal líquido á la temperatura ordinaria, pasa al estado sólido á —40°, y hierve á 350°. Se conoce tambien con el nombre de *azogue*, tiene un color blanco de plata, no tiene olor, ni sabor. Tocándolo en el estado sólido, produce una sensacion, como si se tocase un cuerpo muy caliente. Cuando es puro, no moja casi ningun cuerpo. El mercurio ejerce una accion lenta, pero deletérea sobre la economía animal. Amalgamado con $\frac{1}{4000}$ de plomo, toma una superficie plana que puede servir para graduar los tubos de vidrio. Unido al estaño en partes iguales, se emplea en la construccion de los espejos. Combinado con el cloro, forma el *protocloruro* Hg^2Cl llamado *calomelano*, y el bicloruro $HgCl$, conocido con el nombre de *sublimado corrosivo;* este compuesto inalterable al aire tiene un sabor estíptico y desagradable y debe considerarse, como un veneno muy violento. Se emplea para preservar las maderas contra los insectos, y para conservar las piezas anatómicas y los objetos de historia natural.

609. La *plata* es el metal mas notable por su blancura y brillo, no tiene olor ni sabor, es mas duro que el oro, y menos que el cobre ; pero con una pequeña cantidad de este último metal, adquiere mucha dureza. No se oxida en el aire , pero se combina directamente y con gran facilidad con el azufre formando un sulfuro negro; por este motivo se ennegrecen los objetos de plata que se hallan en sitios, donde se desarrolla el ácido sulfhídrico. Entre los compuestos de la plata merece citarse el *nitrato* AgO,NO^5, que es una sal incolora, amarga y muy cáustica, que la luz solar descompone, por cuyo motivo es una de las sustancias mas empleadas en la fotografía : tambien sirve para marcar la ropa blanca. Esta sal se obtiene tratando la plata con el ácido nítrico á un moderado calor. Echando en una solucion de esta sal la disolucion de cloruro sódio, ó sea de sal comun, se forma inmediatamente el cloruro de plata $AgCl$ blanco, cuyo color se conserva en la oscuridad, pero expuesto á la luz solar se ennegrece rapidamente, formándose un subcloruro Ag^2Cl. En los laboratorios se reduce

el cloruro de plata, mezclando 100 partes de este compuesto con 70 de creta y 4 de carbon, con la accion de un fuerte calor.

610. El *oro* conocido desde la mas remota antigüedad, así como la plata, es un metal de color amarillo característico, sin olor, ni sabor, reducido á polvo fino tiene un color amarillo morado, es casi tan blando como el plomo, y el mas ductil y maleable de todos los metales: es uno de los menos alterables, y para disolverlo se necesita el *agua regia*. El oro en estado de combinacion con el cobre lo mismo que la plata sirve para fabricar objetos de lujo, y para acuñar moneda. La ley de la moneda en España es $\frac{9}{10}$ de oro ó de plata y $\frac{1}{10}$ de cobre.

611. El *platino* conocido desde mediados del siglo XVIII tiene un color blanco gris susceptible de gran pulimento, es muy dúctil y maleable, y el mas denso de todos los cuerpos. Es el metal menos alterable al aire, no se une á ninguna temperatura con el oxígeno. Precipitando el cloruro de platino con solucion de sal amoniaco, se obtiene un cloruro doble de platino y amoniaco, el cual calcinado, dá una masa esponjosa, conocida con el nombre de *esponja de platino,* la cual tiene un color ceniciento, y se inflama al contacto de un chorro de hidrógeno.

CAPÍTULO XIX.

DE LOS PRINCIRALES COMPUESTOS.

612. Todos los metales se pueden combinar con el oxígeno, y estos compuestos toman el nombre de *óxidos*. Algunos de ellos forman bases muy enérgicas; otros á manera de ácidos se combinan con bases. Ordinariamente los óxidos metálicos se dividen en cuatro clases á saber: 1.ª en *óxidos básicos*, que son los que combinándose con ácidos forman *sales;* tales son los óxidos de potasio, de sodio, de calcio, etc. 2.ª en *óxidos ácidos*, los cuales ordinariamente no se combinan con ácidos, sino que á manera de ácidos, se unen con otras bases y forman sales, tales son el ácido crómico, el ácido antimónico, el ácido mangánico, etc. 3.ª En *óxidos indiferentes,* que combinándose con otros óxidos, ya hacen las veces de ácido, ya las de base, como por ej. la alumina. 4.ª En *óxidos salinos* que resultan de la combinacion de un óxido básico con un óxido superior del mismo metal: en este caso se hallan los compuestos Fe^3O^4, Mn^3O^4, Cr^3O^4, las cuales fórmulas deben escribirse FeO,Fe^2O^3; MnO,Mn^2O^3; CrO,Cr^2O^3.

613. Los metales tambien se combinan con otros metaloides, formando compuestos análogos á los óxidos. Muy notables son las com-

binaciones con el cloro, azufre, etc, las cuales á veces obran como ácidos, y otras como bases, así el protosulfuro de antimonio, ó sea el sulfido de antimonio Sb^2S^5 obra como ácido, y el sulfuro de potasio KS como base.

614. Se da el nombre de *sal* á la combinacion formada por dos compuestos binarios, de los cuales uno obra como elemento electro-negativo, y á manera de ácido, y el otro como elemento electro-positivo y como base. La base siempre consta de un metal combinado con un metaloide, á escepcion del amoniaco. El cuerpo electro-negativo casi siempre se compone de dos metaloides, como por ej. el ácido sulfúrico, pero á veces se forma tambien de un metal combinado con un metaloide, como el ácido crómico.

615. Las sales se dividen en sales *neutras*, sales *ácidas* y sales *básicas*. Estos grados suelen determinarse ordinariamente por medio del cambio de color que la sal produce sobre algunas materias colorantes de orígen vegetal, que se llaman *reactivos colorados*, como son la tintura de girasol, el jarabe de violetas, la curcuma, etc. La tintura de girasol, que es el reactivo mas frecuentemente empleado para reconocer la presencia de los ácidos ó de las bases, resulta de la combinacion de una base mineral con un ácido vegetal de color encarnado. Ahora un ácido enrojece la tintura, porque combinándose con la base mineral, deja libre el ácido vegetal, que siendo naturalmente encarnado, muestra su propio color. Al revés una base hace azul la misma tintura enrojecida por un ácido, porque combinándose con este ácido, vuelve el ácido vegetal á unirse con su propia base, restableciéndose de este modo su color azul primitivo.

616. El sulfato de potasa KO,SO^3 no tiene accion alguna sobre la tintura de girasol, porque el ácido sulfúrico, y la potasa tienen tal afinidad entre sí, que ni pueden separar el ácido de la tintura, ni tampoco su base, por lo que quedando intacta la tintura, esta conserva su propio color, y así se dice que el sulfato de potasa es una *sal neutra*. Pero podria haber otro principio colorante que tuviese mayor afinidad con el ácido sulfúrico ó con la potasa, y entonces el sulfato de potasa sufriria una reaccion. De donde se sigue, que la neutralidad de una sal con relacion á los reactivos colorados, es una cosa meramente relativa.

617. Los reactivos colorados pueden servir para reconocer la neutralidad de una sal formada por una base y un ácido de igual energía, como la potasa ó la soda, ó el amoniaco con el ácido sulfúrico, pero el reactivo es insuficiente para conocer la neutralidad de las sales formadas por un ácido fuerte y una base débil, ó al revés, por ej. el ácido sulfúrico y la alumina. En tal caso se consideran como sales neutras aquellas, en que el oxígeno del ácido tiene con el de la base la misma relacion, que en las otras sales del mismo género

formadas por ácidos y bases fuertes, por ej. en las sales neutras de sulfato de potasa ó de soda se tiene KO,SO^3; NaO,SO^3, en las cuales, como se ve, el oxígeno del ácido es triple del oxígeno de la base, luego se tomarán como sulfatos neutros todos aquellos, en que el oxígeno del ácido tenga esta misma relacion con el de la base. Así los sulfatos de cobre y de mercurio representados por CuO,SO^3;HgO,SO^3 se consideran como sales neutras, no obstante que enrojecen la tintura de girasol. Dígase lo mismo de los demás géneros de sales.

618. Cuando la base es un *sesquióxido*, es decir consta de dos equivalentes del radical por tres de oxígeno, la sal neutra deberá contener tantos equivalentes de ácido, que su oxígeno sea el correspondiente múltiplo del de la base, por ej. los sulfatos neutros de alumina ó de peróxido de hierro se representarán por $Al^2O^3,3SO^3$; $Fe^2O^3,3SO^3$; y los nitratos neutros de estas mismas bases serán $Al^2O^3,3NO^5$; $Fe^2O^3,3NO^5$.

619. Determinada una vez la neutralidad de una sal, serán *sales ácidas ó sales básicas* aquellas, en que la relacion del oxígeno del ácido al de la base es mayor ó menor, que la que se ha observado en la sal neutra. Así llamando R á un radical, que entra por un equivalente, se tendrá la siguiente serie.

$RO,(SO^3)^3=\dot{R}\ \dddot{S}^3$ Trisulfato.

$RO,(SO^3)^2=\dot{R}\ \dddot{S}^2$ Bisulfato.

$RO,(SO^3)^{\frac{3}{2}}=\dot{R}^2\ \dddot{S}^3$ Sesquisulfato.

$RO,(SO^3)^1=\dot{R}\ \dddot{S}$ Sulfato neutro.

$(RO)^{\frac{3}{2}}SO^3=\dot{R}^3\ \dddot{S}^2$ Sulfato sesquibásico.

$(RO)^2,SO^3=\dot{R}^2\ \dddot{S}$ Sulfato bibásico.

$(RO)^3SO^3=\dot{R}^3\ \dddot{S}$ Sulfato tribásico.

620. Hay ciertos ácidos débiles, que se combinan con bases fuertes en muchas proporciones, sin que ninguna combinacion sea neutra con relacion á los reactivos colorados. Tales son los ácidos silicio, bórico, carbónico, etc. Así el ácido carbónico con la potasa forma tres sales KO,CO^2; $2KO,3CO^2$; $KO,2CO^2$ que todas ejercen una accion alcalina sobre la tintura de girasol: ¿cuál pues de ellas deberá tomarse como neutra? Muchísimos químicos toman la primera, como mas estable, otros la tercera, porque neutraliza mejor que las otras las propiedades alcalinas de la base. En tales casos no pudiéndose fijar la neutralidad de la sal, esta ofrece mucha incertidumbre.

621. Casi todas las sales son sólidas á la temperatura ordinaria. Las que resultan de un ácido y una base sin color, tambien carecen

de color. Las sales, que una misma base colorada forma con ácidos diferentes sin color, son coloradas, y tienen poco mas ó menos el mismo color, cuando han sido cristalizadas en el agua. Las sales formadas por diferentes bases sin color con un mismo ácido colorado, tienen un color análogo al del ácido libre.

622. El sabor de las sales solubles casi siempre depende de la base; así las sales de soda tienen un gusto salado, análogo al de la sal de cocina, las de potasa lo tienen algo amargo, las de magnesia, sumamente amargo, las de alumina dulce y astringente, etc. El ácido ejerce una influencia notable en el sabor de la sal.

623. Las sales cristalizando en el agua, se combinan con una cierta cantidad de ella, que se llama *agua de cristalizacion*, la cual es constantemente la misma, cuando la sal cristaliza en la misma temperatura. Ordinariamente cuanto mas elevada es la temperatura, en que la sal cristaliza, menor es la cantidad de agua que toma. Estas cantidades de agua, con que se combina la sal en temperaturas diferentes suelen seguir relaciones múltiplas.

624. Cuando se calienta una sal, que contiene mucha agua de cristalizacion, suele disolverse en esta agua, y entonces se dice que experimenta la *fusion acuosa :* elevándose mas la temperatura de esta solucion, llega un punto en que la sal toma otra vez la forma sólida, y si se sigue elevando la temperatura, y no se descompone la sal, esta vuelve otra vez á fundirse, y entonces se dice que sufre la *fusion ígnea*. En tales casos la sal puede perder enteramente toda el agua de cristalizacion, y enfriándose suele tener propiedades diferentes de las que antes tenia. Las sales combinadas con uno ó muchos equivalentes de agua se dicen *sales hidratadas*, y las que no tienen ningun equivalente de agua se llaman *sales anhidras*.

LIBRO SÉPTIMO.

DEL CALÓRICO.

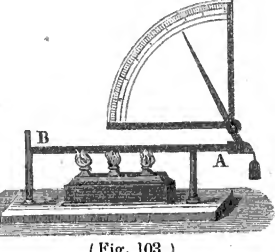
CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA DILATACION DE LOS CUERPOS POR EFECTO DEL CALOR.

625. Se da el nombre de *calórico* al agente, que produce en nosotros la sensacion del calor, produciendo tambien en los cuerpos inertes varios otros fenómenos, cómo son de dilatarlos, derretirlos, evaporarlos, enrojecerlos, etc.

626. Entre las opiniones, que se han emitido acerca del calor, dos son las mas generalmente seguidas, á saber: el sistema de la *emision* y el de las *ondulaciones*. Segun el primer sistema, el calórico es un fluido material, imponderable, cuyas moléculas están en un contínuo estado de repulsion. Este fluido existiria en todos los cuerpos, combinándose con sus moléculas, oponiéndose á su mútuo contacto. Segun el otro sistema, el calórico depende del movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos calientes, el cual se trasmite por medio de un fluido eminentemente sutil y elástico, llamado *eter*, que llena el espacio y los intersticios intermoleculares de todos los cuerpos. En la primera hipótesis los cuerpos enfriándose pierden calor, y en la segunda pierden movimiento. Los progresos que ha hecho la física hacen solamente admisible la teoría de las vibraciones ú ondulaciones, como se verá mas adelante.

627. Todos los cuerpos se dilatan por efecto del calor, siendo los mas dilatables los gases, luego los líquidos, y finalmente los sólidos, en los cuales se puede observar la dilatacion lineal ó en una sola dimension, y la cúbica ó sea en volúmen.



(Fig. 103)

628. Para observar la dilatacion lineal de los sólidos se hace uso de una barra metálica AB (fig. 103), fija en B por medio de un tornillo, y por el otro extremo A, que está libre, empuja el talon ó brazo ménor de

un índice móvil sobre un cuadrante. Debajo de la barra hay un depósito de alcohol, que encendido calienta la barra, y obliga al índice á recorrer parte del cuadrante. Para observar la dilatacion cúbica, sirve el pequeño aparatillo llamado *anillo de S' Gravezande*. Se suspende de un hilo metálico una esferita metálica, que cuando está fria pasa muy ajustada por un anillo metálico; pero calentándola no puede ya pasar.

629. La dilatacion de los líquidos se comprueba facilmente llenando una bola de vidrio montada por un tubo casi capilar, calentando la bola se ve subir el líquido por el tubo. Adaptando al cuello de la bola un tubo recurvo, en el cual se introduce una pequeña cantidad de un líquido cualquiera, se observa la dilatacion del aire ú otro gas contenido en la bola. En todos estos experimentos, al enfriarse el cuerpo, vuelve á recobrar exactamente el primitivo volúmen, cuando el calor está al mismo grado que antes.

CAPÍTULO II.

DE LA TEMPERATURA Y DE LOS TERMÓMETROS.

630. La temperatura de un cuerpo es el estado actual de su calórico sensible. Si este aumenta ó disminuye, se dice que sube ó baja la temperatura.

631. Las sensaciones de frio ó de calor que experimentamos, no son medios aptos para medir las temperaturas, porque estas sensaciones no solo son distintas en los diferentes individuos, sino tambien en un mismo individuo al mismo tiempo. Téngase una mano por algun tiempo en la nieve, y la otra en agua lo mas caliente, que se pueda sufrir, y luego introdúzcanse ambas á la vez en el agua á la temperatura ordinaria: esta agua producirá una sensacion de calor en la mano fria, y de frio en la caliente: luego las sensaciones no nos pueden servir para medir las temperaturas de los cuerpos.

632. Llamamos *termómetros* los instrumentos destinados á medir las temperaturas. Estos instrumentos están fundados en la dilatacion que experimentan los cuerpos por el calor, aunque tambien se construyen segun otro principio, como á su tiempo se expondrá. Algunos atribuyen la invencion del termómetro á Galileo, y otros á Drebbel holandés. El termómetro puede construirse ó con sólidos, ó con líquidos, ó con aeriformes; pero los termómetros ordinarios suelen ser de líquidos, porque los sólidos se dilatan poco, y los aeriformes demasiado. Los líquidos que se han adoptado son el mercurio y el alcohol, porque aquel no hierve sino á una temperatura muy elevada, y este no se solidifica con los mayores frios conocidos.

633. El termómetro de mercurio consta de un pequeño depósito de cristal de forma esférica ó cilíndrica, montado de un tubo capilar bien calibrado. Se llena de mercurio la capacidad del depósito y parte del tubo, y una escala graduada da á conocer la dilatacion. Para introducir el mercurio en el recipiente, debe este calentarse un poco, para expeler el aire, y entónces puesta la punta del tubo capilar en un vaso de mercurio, enfriándose el recipiente, en virtud de la presion atmosférica se introduce el mercurio en él; cuando no entra mas mercurio, se vuelve otra vez á calentar la bola, y luego se introduce otra cantidad de mercurio, y así se repite la operacion hasta llenar enteramente el depósito y parte del tubo: entónces se hace hervir el mercurio por un breve rato, para arrojar el vapor de agua que pudiera contener: lleno asi el instrumento de mercurio puro y seco, se suelda la extremidad del tubo á la lámpara, mientras aun el tubo está casi lleno de mercurio caliente.

634. Para graduar el instrumento, se introduce el depósito en el hielo machacado, y en el punto donde se para el nivel del mercurio, se señala cero, luego se pasa al vapor que despide el agua hirviendo bajo la presion de $0^{m},760$ indicada por el barómetro, y en el punto donde se para el mercurio se nota 100; el espacio entre cero y 100 se divide en cien partes iguales, y se continua la division debajo del cero y encima del 100, cuanto permita la longitud del tubo, y queda el aparato graduado. Se ha comprobado, que por cada 27 milímetros de diferencia del barómetro, la temperatura de la ebullicion del agua, y por consiguiente del vapor que tiene encima, sube ó baja de un grado: por tanto si el barómetro señalase $0^{m},733$, en el punto donde se pararia el mercurio, se pondria 99.

635. El termómetro así graduado se llama *termómetro centígrado*. En el termómetro llamado de *Reaumur* el cero corresponde al del centígrado; pero en el punto de ebullicion está señalado 80, de modo que 100 grados del centígrado corresponden á 80 grados de Reaumur, y así 1° centig.$=\frac{4}{5}$ R, y 1° R.$=\frac{5}{4}$C. En Inglaterra y en América es muy usado el termómetro dicho de *Fahrenheit*, en el cual el cero corresponde á 32 grados debajo del cero del centígrado, y en el punto correspondiente á la ebullicion marca 212, de modo que 100° C$=80^{o}$R., equivalen á 180°F., y así 1°C.$=\frac{9}{5}$F.; 1°F.$=\frac{5}{9}$C; 1°R$=\frac{9}{4}$F.; 1°F$=\frac{4}{9}$R. Por tanto para reducir los grados de un termómetro á los de otro, se multiplicarán por la relacion correspondiente; pero en la reduccion á los de Fahrenheit se añadirán 32 grados. Al revés queriendo reducir los de Fahrenheit á los demás, primero se quitarán 32 y luego el resíduo se multiplicará por la relacion correspon-

diente. Por ej. 25°C. á ¿cuántos equivaldrán del de R. y del de F.? se tendrá $25^{\circ}C.=25\times\frac{4}{5}R.=25\times\frac{9}{5}+32F.$ Si se quiere saber, ¿á cuántos grados C. ó de R. equivalen 50°F.? se tendrá $50-32F= 18\times\frac{5}{9}C.=18\times\frac{4}{9}R.$

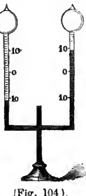
636. En vez del mercurio algunas veces se hace uso del alcohol, como es cuando se tienen que tomar temperaturas muy bajas, pues este líquido no se solidifica por baja que sea la temperatura, como lo hace el mercurio que á 40° bajo cero se hiela. Pero como el alcohol hierve á 78°, no se puede graduar como el termómetro de mercurio; para graduarlo se ponen juntos los dos termómetros de mercurio y de alcohol en un baño, que se calienta gradualmente, y las indicaciones del uno se señalan en el otro, y de este modo son comparables las temperaturas de los dos termómetros. Conviene observar, que el termómetro de mercurio no se puede graduar, sino despues de un tiempo notable, por ejemplo de dos ó mas años de haberse construido, porque el depósito de vidrio tarda mucho tiempo á recobrar su primitivo volúmen despues que ha sido calentado, de otra manera entre el verdadero punto del cero y el que se ha notado podria haber una diferencia de dos ó mas grados.

637. En muchas circunstancias conviene conocer la mas alta temperatura del dia y la mas baja de la noche. A este fin se han construido los termómetros de *máxima* y de *mínima* temperatura. El primero es un termómetro ordinario de mercurio, sobre cuyo nivel interior hay un pequeño cilindrito de hierro, que sirve de índice. Estando el tubo del termómetro en una posicion horizontal, el mercurio dilatándose por el calor, empuja dicho cilindrito, pero al contraerse por el frio, lo deja en su lugar, por no haber adherencia entre el hierro y el mercurio; por lo que el punto donde se ha parado este índice, indica la mayor temperatura, que se ha experimentado. El termómetro de mínima temperatura es de alcohol, en el que se ha introducido un pequeño cilindrito de esmalte, que sirve de índice. Estando este índice en el remate de la columna líquida, al contraerse arrastra consigo al índice, por un efecto de adhesion entre el esmalte y el alcohol; pero al subir la temperatura, se dilata el líquido, pasando entre las paredes del tubo y del índice, que queda inmóvil en su lugar, y así indica la menor temperatura, que se ha experimentado.

638. Para observar cortas variaciones de temperatura sirve el termómetro de aire de Amontons, el cual consiste en un depósito de vidrio, que tiene soldado un largo tubo capilar encorvado; lleno el depósito de aire seco, se introduce en la parte encorvada del tubo un poco de ácido sulfúrico teñido en rojo, dejando el tubo abierto, para que al dilatarse el aire, no se rompa el instrumento: luego se gradua,

comparándolo con un termómetro ordinario de mercurio. Estando el tubo abierto la presion atmosférica hace sentir su influencia en la dilatacion y contraccion del aire del depósito, de suerte que es necesario hacer una correccion en cada observacion. Las observaciones hechas con el termómetro de aire y con el de mercurio, están sensiblemente acordes hasta 260°; pero pasando de este punto, el mercurio se dilata mas, que el aire.

639. El *termómetro diferencial* de Leslie, que representa la fig. 104, consiste en dos bolas de vidrio llenas de aire y unidas por un tubo encorvado. Antes de cerrar el aparato se llena de ácido sulfúrico colorado la parte inferior del tubo y la mitad de los brazos verticales: cerrado luego el aparato, se hace pasar el aire de una á otra bola, de modo que el liquido esté en los dos brazos en un mismo nivel. En este punto se señala cero, luego se da á una bola una temperatura de 10° mayor que la otra, y así el líquido es empujado por el aire calentado hácia la bola mas fria, y en el punto donde se para el liquido en cada lado, se señala 10, luego se divide el intérvalo en diez partes iguales, y se continua la division, cuanto permite la longitud del tubo. El *termoscópio* de Rumford no se diferencia del precedente, sino en que la parte horizontal del tubo es mayor, y las ramas verticales mas cortas, y en el interior del tubo no se pone sino una pequeña cantidad de líquido, que estando en el punto medio del tubo, tiene el cero señalado en sus dos superficies.



(Fig. 104).

640. Como todos los termómetros descritos no son aptos para medir temperaturas muy elevadas, se ha inventado otra clase de termómetros, que toman el nombre de *pirómetros*. El que lleva el nombre de *Wedgwood* su inventor consiste en dos láminas de laton de doce pulgadas de largo inclinadas entre sí, de modo que por una extremidad tienen dos líneas mas de abertura que por la otra; cada pulgada de las láminas está dividida en veinte grados, y un grado del pirómetro se evalua proximamente á 72 grados del termómetro ordinario. Se fabrican cilindros de arcilla, que secos á la temperatura de 100 grados se introducen exactamente en la extremidad mas abierta de dichas láminas. Queriendo pues conócer la temperatura de un horno por ej. se echa dentro uno de esos cilindros, y como la arcilla se contrae tanto mas, cuanto es mayor su temperatura, no solo porque pierde la humedad que contenia, sino por un principio de vitrificacion que sufre, así es que sacado el cilindro del fuego, y enfriado, se introduce mucho mas en las láminas sobredichas, denotando así la temperatura del horno. Pero sus indicaciones están léjos de ser exactas.

641. El *pirómetro de Brogniard* consiste en una barra de hierro, ó de platino que está dentro de una canalita practicada en una placa de porcelana colocada dentro del horno. Dicha barra por uno de sus extremos está fija, y por el otro está en contacto con otra barra de porcelana, que sale fuera del horno, y se apoya en el brazo menor de un índice en forma de palanca, que marca la mayor ó menor dilatacion de la barra metálica, y consiguientemente la temperatura del horno.

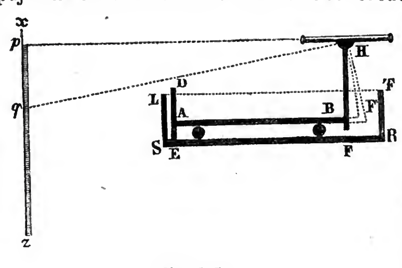
642. Breguet inventó un termómetro sólido que lleva su nombre y es muy sensible. Este aparato consta de dos laminitas una de plata y otra de platino soldadas por una tercera laminita de oro, de modo que las tres laminitas forman una cinta metálica muy delgada, que se revuelve en espiral. El extremo superior está fijo á un sosten metálico, y el inferior lleva un índice, debajo del cual está colocado un círculo graduado por medio de la comparacion con un termómetro ordinario. La plata colocada en la parte interior de la espiral, dilatándose mas que el platino, la hace abrir, cuando se eleva la temperatura, y cerrar, cuando disminuye.

CAPÍTULO III.

DE LA MEDIDA DE LA DILATACION DE LOS SÓLIDOS.

643. Se llama *coeficiente de dilatacion*, el aumento que sufre la unidad lineal ó cúbica de un cuerpo por un grado de temperatura.

644. Para hallar el coeficiente de dilatacion lineal de los sólidos, se usa del siguiente aparato (fig. 105). AB representa una barra de la materia, cuya dilatacion lineal se quiere determinar. El extremo A se apoya contra una pared fija de vidrio DE, y el extremo B empuja otra lámina de vidrio HF móvil al rededor de un eje horizontal, cuya proyeccion es H. Hay en dicho eje un anteojo horizontal y en frente una mira xz puesta á una distancia de 100 ó 200 metros dividida en milímetros, En primer lugar se reemplaza la barra AB por otra, que tenga exactamente un milímetro mas de longitud, por lo que la lámina HF toma la posicion HF′, y el anteojo en vez de dirigirse como antes al punto P, se dirige al punto Q: supongamos que el espacio PQ mide 500 divisiones: se dirá, si 500 suponen un milímetro de dilatacion, una sola division ¿qué supondrá? esto es, 500 : 1 : :



(Fig. 105).

$1 : \frac{1}{500}$. Luego se pone otra vez la barra AB, y se envuelve con nieve ó hielo machacado por medio de la cuba LSRT en que está metida la barra, y se observa el punto de la mira, en que se fija el anteojo; en seguida se va calentando el agua hasta una temperatura determinada t por ejemplo de 100 grados, con lo que el anteojo habrá corrido n divisiones, y la barra se habrá dilatado $\frac{1^{mm}}{500} \times n = \frac{n}{500}$. Ahora si t grados han producido $\frac{n}{500}$ milímetros de dilatacion, lo que ha producido un grado se hallará por la proporcion $t : \frac{n}{500} :: 1 : \frac{n}{500.t}$; luego si la barra AB$=l$ se ha dilatado $\frac{n}{500.t}$ por un grado, lo que se dilata la unidad de longitud se hallará por la proporcion $l : \frac{n}{500.t} :: 1 : \frac{n}{500.t.l}$. Este pues será el coeficiente de la dilatacion lineal buscado, que se representará por k.

645. Con este procedimiento se ha formado la tabla siguiente del coeficiente lineal por cada grado de temperatura entre cero y 100°.

SUSTANCIAS.	COEFICIENTE K.	SUSTANCIAS.	COEFICIENTE K.
Vidrio.	0,00000881	Cobre . . .	0,00001718
Platino.	0,00000884	Laton.. . .	0,00001878
Hierro (alambre). .	0,00001235	Plata. . . .	0,00001910
Hierro dulce. . . .	0,00001220	Estaño. . .	0,00002173
Acero templado.. .	0,00001225	Plomo. . .	0,00002882
Oro refinado. . . .	0,00001401	Zinc. . . .	0,00002942
» » » »	» » » »	» » » »	» » » » »

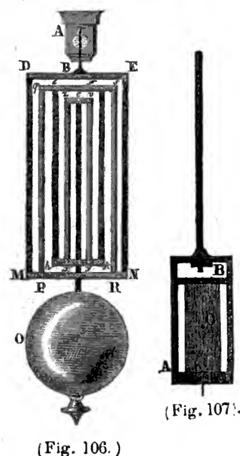
646. Aumentando la unidad lineal de la cantidad k por un grado, por t grados aumentará kt, y por consiguiente una longitud l^0 á cero grados, por t grados, se convertirá en $l^0(1+kt)=l$, fórmula que da la dilatacion lineal por t grados: y despejando l^0 será $l^0 = \frac{l}{1+kt}$, que expresa la longitud á cero grados dada la longitud á la temperatura t. Ahora si la longitud l de la temperatura T pasa á T′, llamando l' la nueva longitud que le corresponde, se tendrá $l^0 = \frac{l}{1+kT}$, y $l' = l^0(1+kT') = l\frac{(1+kT')}{1+kT}$; el mismo valor de l' se puede obtener por la simple fórmula $l' = l(1+k[T'-T])$, pues pasando de la temperatura T, á T′ su temperatura aumenta de T′—T.

647. La dilatacion cúbica es próximamente triple de la lineal; por que siendo los volúmenes semejantes como los cubos de las líneas homologas, llamando l^0 y l á las longitudes á cero y á T grados, y V° y V los volúmenes correspondientes, se tendrá $\frac{V}{V^0} = \frac{l^3}{l^{03}} = l^{03}\frac{(1+kt)}{l^{03}} = (1+kt)^3 =$

$1+3kt+3k^2t^2+k^3t^3$, y como k es ya una cantidad sumamente pequeña, sin comparacion será mucho menor k^2 y k^3, por lo que los dos últimos términos se pueden despreciar sin error sensible, y queda $\frac{V}{V^0}=1+3kt$ haciendo $3k=K$, se tendrán tambien las fórmulas análogas á las precedentes $V=V^0(1+KT)$, $V^0=\frac{V}{1+KT}$, $V=\frac{(1+kT')}{1+KT}$, $V=V(1+K[T'-T])$

648. Para hallar la densidad de los cuerpos en las diferentes temperaturas: sean d^0 y d las densidades de un cuerpo á cero grados y á la temperatura T, y P el peso del volúmen V^0 y V á estas temperaturas, se tendrá $P=V^0d^0$, $P=Vd$ de donde $V^0d^0=Vd$; pero $V=V^0(1+kT)$ luego $V^0d^0=V^0d(1+kT)$, finalmente $d^0=d(1+kT)$ y $d=\frac{d^0}{1+kT}$. Así tambien los pesos siendo proporcionales á las densidades, se tendrá $P^0=P(1+kT)$ y $P=\frac{P^0}{1+kT}$.

649. La desigual dilatacion de los metales ha recibido una importantísima aplicacion en el péndulo compensador. Si la lente del péndulo estuviese sostenida por una simple varilla, esta dilatándose ó contrayéndose haria variar la distancia del centro de gravedad de la lente al punto de suspension, con lo que se alteraria el tiempo de las oscilaciones (174). Para evitar este inconveniente, se hace uso de un sistema de varillas de acero y de laton sostenidas del modo siguiente (fig. 106). La varilla de acero AB, que parte del punto A de suspension, sostiene el travesaño DE, al cual están fijas las varillas de acero DM, EN, estas sostienen el travesaño MN, sobre el cual están fijas las varillas de laton Pq, Rs, el travesaño qs á su vez sostiene las varillas de acero th, fk y sobre el travesaño kh están fijas las varillas de laton zx yv, finalmente el travesaño zv sostiene la varilla de acero eO que lleva la lente O. Con esta disposicion dilatándose hácia abajo las varillas de acero, las de laton se dilatan hácia arriba, y como el laton se dilata mas que el acero, podrá haber compensacion entre ellos, cuando tengan una conveniente longitud. Sean a, a', a'', a''', las longitudes de las respectivas varillas de acero y b, b', las de laton y L la longitud total del péndulo se tendrá $L=a+a'+a''+a'''-b-b'$. Representando por k y k' los coeficientes del acero y del laton, para que la dilatacion esté exactamente compensada se deberá tener $k(a+a'+a''+a''')=k'(b+b')$, sustituyendo en esta ecuacion el valor de, $a,+a'+a''+a'''$ sacado de la precedente, será $k(L+b+b')=k'(b+b')$, de donde $b+b'=\frac{L}{\frac{K'}{K}-1}$. Ahora $\frac{K'}{K}=\frac{7}{4}$ próximamente, luego $b+b'=L\times\frac{4}{3}$, y así $a+a'+a''+a'''=\frac{7}{3}\times L$.



(Fig. 106.)

(Fig. 107).

650. Tambien se puede obtener la constante longitud del péndulo por medio de lá-

minas compensadoras. Al efecto se sueldan dos láminas, una de hierro, y otra de cobre, la una sobre la otra, y se fijan horizontalmente en la varilla del péndulo, el cobre debajo. Si baja la temperatura se acorta la varilla y sube la lente; pero al mismo tiempo se encorvan las láminas hácia abajo, por contraerse el cobre mas que el hierro, coo lo que baja el centro de gravedad; lo contrario sucede si sube la temperatura. Dos esferitas metálicas de una masa conveniente, colocadas eo las extremidades establecen la compensacion entre los puntos, que se acercan al centro de suspension y los que se alejan.

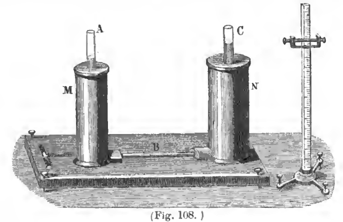
651. Graham ha construido un péndulo, en el cual la compensacion se obtiene por medio de la dilatacion del mercurio. Al disco del péndulo ha sustituido un cilindro AB (figura 107), cargado de mercurio de modo que el centro O de gravedad coincida con el centro de figura, si se dilata la varilla del péndulo, baja dicho centro; pero subiendo al mismo tiempo el nivel del mercurio por efecto de su dilatacion, sube tambien el mismo centro, quedando de este modo constante la longitud del péndulo.

CAPÍTULO IV.

DE LA DILATACION DE LOS LÍQUIDOS.

652. En los líquidos hay que distinguir dos dilataciones, una *absoluta* y otra *aparente*. La primera es el aumento real experimentado por el líquido: la segunda es lo que sube de nivel un líquido contenido en un vaso, que tambien se dilata, pero menos que el líquido. Estas dos dilataciones se hacen sensibles, introduciendo un termómetro de alcohol en el agua hirviendo ; en el primer momento baja el alcohol porque el recipiente se dilata , pero luego sube, porque tambien se calienta el alcohol.

653. Para hallar la dilatacion absoluta de un líquido, por ejemplo del mercurio, se pone el líquido en un tubo comunicante ABC (fig. 108), cuya parte inferior esté bien horizontal. El brazo A se en-

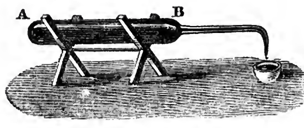


(Fig. 108.)

cierra en un vaso metálico M, donde se pone hielo machacado, y el brazo C se encierra en otro vaso N, que contiene agua á una determinada temperatura por ej. 100°. El líquido en el brazo C por efecto de la mayor temperatura estará mas dilatado, y así tendrá menor densidad que en el brazo A. Ahora las densidades de los líquidos en

los vasos comunicantes están en razon inversa de sus alturas, luego llamando d, d' las densidades, a, y a' las alturas respectivas, se tendrá $d : d' :: a' : a$, de donde $ad = a'd'$, pero $d = d'(1+kt)$ (648), luego $ad'(1+kt) = a'd'$, y $a(1+kt) = a'$; despejando k, se tendrá $k = \frac{a'-a}{at}$. Por lo que bastará medir con el cathetometro las alturas a y a', y observar la temperatura t por medio de un termómetro sumergido en el agua caliente del vaso N. Así se ha hallado para el mercurio $k = \frac{1}{5550}$.

654. Para hallar la dilatacion aparente de un líquido en un vaso de vidrio AB, en primer lugar se pesa este vaso, al cual se le da la forma de un cilindrito montado por un tubo casi capilar encorvado BC, como muestra la (fig. 109). Se llena todo el recipiente del líquido que se quiere observar, y envuelto en hielo machacado, va entrando mas y mas líquido hasta que el aparato queda enteramente lleno á la temperatura cero. Entonces se calienta el recipiente hasta una determinada temperatura, por ejemplo de 100°, y se recoge el líquido, que se derrama por efecto de su dilatacion. Se pesa esta porcion de líquido derramado, que llamarémos p, como tambien el recipiente con el líquido que contiene, de cuyo peso quitado él del recipiente, quedará el peso del solo líquido, que harémos igual á P′, y así el peso total del líquido que llena el aparato á cero grados, será $P = P' + p$. Vuelto otra vez el aparato á la temperatura cero, la cantidad del líquido P′ no ocupará mas que una parte de él, sea V este volúmen, y U toda la capacidad, se tendrá $P : P' :: U : V$, porque los pesos son proporcionales á los volúmenes, de donde $U = \frac{VP}{P'}$ pero $U = V(1+kt)$, luego $V(1+kt) = \frac{VP}{P'}$ de donde $P = P'(1+kt)$ y $k = \frac{P-P'}{P't}$. Así se ha hallado para el mercurio $k = \frac{1}{6480}$.



(Fig. 109).

655. Sustituyendo este valor en la ecuacion, y despejando t, se tendrá $t = \frac{6480(P-P')}{P'} = \frac{6480p}{P-p}$. De este modo se obtiene la temperatura t por medio del peso del mercurio, que el aparato contiene á cero grados, y del que se derrama, pasando á una temperatura t, por lo que este pequeño aparato es tambien un termómetro que se llama *termómetro de peso ó de derrame.*

656. Siendo la dilatacion absoluta del líquido igual á la aparente, mas la del vidrio que lo contiene, se tendrá la dilatacion cúbica de este, restando la dilatacion aparente de la absoluta ó sea $k=$

$\frac{1}{5550}-\frac{1}{6480}=0,0000264$. Añadiendo pues á la dilatacion aparente de un líquido, la dilatacion ya conocida del vidrio, se tendrá la dilatacion absoluta del mismo líquido.

657. Construyendo un termómetro de agua bien calibrado, y observando su dilatacion aparente al mismo tiempo que la temperatura de un buen termómetro de mercurio, se ve que desde cero á 4°, en lugar de dilatarse, se contrae, y de 4° arriba, su dilatacion no es uniforme, sino que se dilata tanto mas, cuanto mayor es su temperatura. Para conocer el volúmen que el agua ocupa en una temperatura t, sea l el volúmen del recipiente, v el volúmen de una de las divisiones del tubo, y n las divisiones ocupadas por el agua á t grados. A esta temperatura el volúmen del agua será $V=(1+nv)(1+kt)$. pues el volúmen de la capacidad del vidrio hasta n divisiones es $1+nv$ en la temperatura cero. Bastará pues contar el número de divisiones ocupadas por el agua en las diferentes temperaturas, para conocer los diferentes volúmenes. Así el volúmen 1 á 4° del agua, es 1,000127 á cero.

658. Las aguas que contienen sales en disolucion, tienen su máxima densidad en temperaturas mas bajas: el agua marina la tiene á—3°,67.

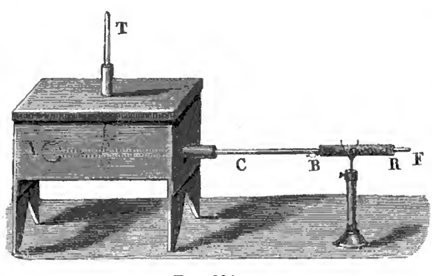
659. De lo que precede se sigue el método de reducir á cero las alturas barométricas observadas en cualquiera temperatura, lo que es absolutamente necesario para que dichas alturas sean entre sí comparables. Sea A la altura á t grados y a á cero. Representando por d la densidad á cero, y por d' á t grados, se tendrá $\frac{d}{d'}=1+k$ (648), pero las densidades están en razon inversa de las alturas, esto es, $\frac{A}{a}=\frac{d}{d'}$, luego $\frac{A}{a}=1+kt$, de donde $a=A\times\frac{1}{1+kt}=A\times\frac{1}{1+\frac{t}{5550}}=A\times\frac{5550}{5550+t}$. Así la altura de 642 milímetros observada á veinte grados se reduce á $a=\frac{642\times5550}{5550+20}=639,69$ milímetros.

CAPÍTULO V.

DE LA DILATACION DE LOS GASES.

660. Varios métodos se han inventado para determinar el coeficiente de la dilatacion de los gases. El mas sencillo consiste en colocar en una caja de lata (fig. 110) un recipiente AB á manera de termómetro, cuyo tubo está dividido en partes iguales, y se sabe cuantas veces el volúmen de una de estas divisiones se contiene en él de la bola A; á

su extremo se une un tubo BRF que contenga una sustancia que absorba la humedad ú otro cuerpo que esté mezclado con el aire ó con el gas, cuya dilatacion se quiere conocer; por medio de una pequeña bomba aplicada á la extremidad F se extrae el aire, y luego se introduce el gas que se quiere observar. Envuelto el tubo con hielo machacado, se observa el punto en que se para un índice C de mercurio que preventivamente se ha puesto en la pequeña cavidad B: en seguida se calienta la caja hasta una determinada temperatura por ejemplo de 100°, indicada por un termómetro T sumergido en el baño, y se observa hasta que punto es empujado el índice C. Sea m el volúmen de la bola, y que el índice á cero grados esté en n divisiones, y en n' divisiones á 100°: el volúmen del aire á cero será $m+n$, y á 100° será $m+n'$, luego la dilatacion correspondiente á 100° será $n'-n$, y por consiguiente la unidad del volúmen dilatado desde 0° á 100° será $\frac{n'-n}{m+n}$, y por un grado será $\frac{n'-n}{(m+n,100}$. Esta pues será la dilatacion aparente del aire ó gas, á la cual añadiendo la dilatacion cúbica del recipiente, se tendrá la dilatacion absoluta. Si durante la operacion, cambia la presion barométrica, es necesario reducir el volúmen á una misma presion, segun la ley de Mariotte.



(Fig. 110.)

561. Con este procedimiento se ha hallado, que el aire se dilata uniformemente desde cero á 100°, y que el coeficiente de su dilatacion es 0,003665. Además, los demás gases tienen un coeficiente aproximativamente igual, como se echa de ver por la tabla siguiente:

GASES.	COEFICIENTE.	GASES.	COEFICIENTE
Aire.	0,003665	Acido sulfuroso. . .	0,003670
Hidrógeno. . .	0,003668	Acido clorhídrico. .	0,003681
Nitrógeno. . .	0,003668	Cianógeno. . . .	0,003682
» » »	» » » » »	Acido carbónico. .	0,003690

Segun M. Regnault, á quien se deben estos datos, el coeficiente de un gas es tanto mayor, cuanto mayor es la presion que sufre.

662. El volúmen V de un gas á t grados, pasando á t' grados será $V'=\frac{V(1+kt')}{1+kt}$ (647), pero este volúmen V' bajo la presion atmosférica a pasará á otro volúmen x bajo la presion a', que se obtendrá por la ley de Mariotte, esto es, $x : \frac{V(1+kt')}{1+kt} :: a : a'$ de donde $x=\frac{Va(1+kt')}{a'(1+kt)}$. Así 10 litros de aire á 20° y bajo la presion de 642 milímetros, pasando á la temperatura de 25° y bajo la presion de 760^{mm} se reducirán á $x=\frac{10\times642(1+0{,}003665\times25)}{760(1+0{,}003665\times20)}=8{,}59$ litros.

663. Sea P el peso de un cierto volúmen V de gas á la temperatura t y bajo la presion a, este volúmen V por lo que se acaba de decir á la temperatura t' y bajo la presion a' se reducirá á $x=\frac{Va(1+kt')}{a'(1+kt)}$; se busca el peso P' del gas, que á la misma temperatura t' y presion a' ocupa el solo volúmen V; se tendrá la proporcion $P' : P :: V : \frac{Va(1+kt')}{a'(1+kt)}$ porque los pesos son proporcionales á los volúmenes en igualdad de circunstancias; luego $P'=\frac{Pa'(1+kt)}{a(1+kt')}$. *Ejemplo.* Un cierto volúmen de aire á la temperatura de 25° y bajo la presion de 760 mm. pesa 8 gramos; ¿cuál será el peso de igual volúmen de aire á la temperatura de 20° y bajo la presion de 642 mm? Se tendrá $P'=\frac{8\times642(1+0{,}003665\times25)}{760(1+0{,}003665\times20)}=687$ gramos.

CAPÍTULO VI.

DE LA DENSIDAD DE LOS GASES.

664. La densidad de los gases depende de la temperatura y de la presion que sufren. La densidad de un gas, con relacion al aire, se obtiene dividiendo el peso de un determinado volúmen de este gas, por el peso de igual volúmen de aire bajo la misma presion y temperatura. Para esto tómese un globo de vidrio de unos 10 litros de capacidad, y lleno de aire bien seco y puro, pésese, y obsérvese la presion barométrica a; de este peso quítese el peso del vidrio, y se tendrá el peso p del aire; llénese luego el globo de otro gas cualquiera, y pésese otra vez, poniéndolo un momento en contacto con el aire para que sufra su presion a', y restando el peso del globo, se obtendrá el peso p' de otro gas; por lo que su densidad relativa será $d=\frac{p'}{p}$, si las dos presiones a y a' son iguales; pero si fuesen desiguales, búsquese el peso x, á que se reducirá p' bajo la presion a por medio de la ley de Mariotte $\frac{x}{p'}=\frac{a}{a'}$ de donde $x=\frac{p'a}{a'}$, por lo que se tendrá $d=\frac{x}{p}=\frac{p'.a}{p\,a'}$. Ordinariamente se reducen las densidades á la temperatura cero, para que sean comparables entre sí, por la fórmula $d^{o}=d(1+kt)$ (648). En

estas operaciones se hace uso por contrapeso de otro globo de vidrio, que poco mas ó menos tenga el mismo volúmen que el globo, que contiene el gas, para que ambos sufran igual presion de parte de la atmósfera que los rodea.

665. Con este mismo método se obtiene la densidad del aire con relacion al agua. Primero se determina el peso p del aire que llena el globo á la temperatura cero y bajo la presion a, y este peso reducido á la presion normal 0,76 será $\frac{p.0,760}{a}$; luego se determina el peso P de agua, que llena el globo á la misma temperatura, que será P(1+0,000127) (657), por tanto se tendrá $d=\frac{p.076}{aP(1+0,000127)}$, que expresará la densidad del aire á la temperatura cero y bajo la presion normal de metros 0,76 con relacion al agua en su mayor grado de densidad; este valor se halla igual á $\frac{1}{770}$.

666. Por tanto el peso de un litro de aire seco á cero y bajo la presion normal de metros 0,76 será $\frac{1000^{gr}}{770}=1,3$ gramos próximamente, puesto que un litro de agua en su mayor densidad pesa 1000 gramos. Y así un litro de aire seco bajo la presion a y á la temperatura t pesará $\frac{1,3^{gr}.\times a}{0,76(1+kt)}$.

667. Para hallar la densidad de aquellos gases que atacando los metales no pueden encerrarse con llave en un globo de vidrio, se hace uso de un frasco que tenga tapon esmerilado: se introduce en él el gas por medio de un tubo, que se hace llegar casi al fondo del mismo frasco, y este se coloca boca arriba ó al reves, segun que el gas es mas pesado que el aire ó bien menos. Cuando se congetura que ha sido expulsado todo el aire, se tapa el frasco y se pesa, como antes se ha dicho. Del peso obtenido quitando el del frasco se tiene el del gas, que se reducirá á cero y á la presion normal. Luego se dividirá este peso por el de igual volúmen de aire, y se tendrá la densidad del gas con relacion al aire. He aquí una tabla de la densidad de algunos gases á cero grados, y á la presion de $0^m,76$.

Aire.	1,0000	Acido sulfhídrico. .	1,1912
Hidrógeno. . .	0,0693	Acido sulfhídrico. .	1,2470
Amoniaco.. . .	0,5960	Acido carbónico. . .	1,5290
Nitrógeno. . .	0,9714	Acido sulfuroso. . .	2,2340
Oxígeno. . . .	0,1056	Cloro.	2,4700

668. Como aplicacion de lo dicho, resuélvase el siguiente problema. ¿Qué peso de hidrógeno á la temperatura $t=20^o$, y bajo la presion $a=642^{mm}$, se contendrá en un vaso de vidrio, que á la temperatura cero tiene una capacidad de 8 litros? Un litro de aire á cero grados y bajo la presion normal de 760 mm. pesa 1.3 gramos, luego un litro de hidrógeno en las mismas circunstancias pesará 0,0692×1,3 gramos; este peso reducido á 20° segun la fórmula $\frac{P}{1+kt}$ se convierte en $\frac{00692\times 1,3gra.}{1+0,003668\times 20}$, y pasando de la presion

normal á la presion de 642 m. se convierte en $\frac{642\,0,0692\times1,3gr.)}{760(1+0,003668\times20}$ por la ley de Mariotte. El vaso de vidrio á cero grados, tiene una capacidad de 8 litros, luego á 20º tendrá la capacidad de $8(1+kt)=8(1+0,00002683\times20)$, por consiguiente el peso de hidrógeno que se contendrá en esta capacidad será $\frac{642(0,0692\times1,3g.).8(1+0,00002683\times20}{760(1+0,003668\times20)}=$ 0,5667 gramos próximamente.

669. El método expuesto no puede servir para los vapores, porque parte de ellos se deposita sobre las paredes del vaso en forma líquida. Hé aquí el método que puede seguirse para los vapores. Se pone dentro de un globo terminado por un tubo aguzado la sustancia, que debe convertirse en vapor, luego se pone el globo en un baño de agua, aceite ó mercurio, segun la temperatura, á que se quiere llegar, y se calienta el baño. Entrando la sustancia en ebullicion, arroja por el tubo un chorro de vapor, que dura hasta que ha desaparecido la cantidad excesiva de la sustancia. Entónces con el soplete se cierra la punta del tubo, y se observa la temperatura del baño y la presion barométrica. Pesando el globo, y quitando el peso del mismo globo vacío, se tendrá el peso de un determinado volúmen de vapor bajo una determinada temperatura y presion. Así se obtiene la siguiente tabla de la densidad de los vapores, que á continuacion se expresan, con relacion á la del aire.

Agua.	1,0000	Vapor de sulfuro de carbono.	2,6447
Vapor de agua.	0,6235	» de esencia de trementina.	5,0130
» de alcohol..	1,6138	» de mercurio.	6,9760
» de ether sulfúrico.	2,5860	» de iodo.	8,7160

670. Sabiéndose que un litro de aire seco bajo la presion normal de 760 milímetros y á 100º pesa $p'=\frac{P}{1+kt}=\frac{1,3\text{ gramos}}{1+0,003665\times100}=0,951$ gr., el peso de igual volúmen de vapor de agua en iguales circunstancias se obtendrá por la proporcion 1 densidad del aire : 06235 densidad del vapor : : 0,951 : $x=0,951\times0,6235=0,593$ gr. peso de un litro de vapor de agua. Ahora un litro de agua pesando 1000 gramos, estos convertidos en vapor ocuparán un volúmen de litros$=\frac{1000}{0,593}=1686$.

CAPÍTULO VII.

DEL CALÓRICO ESPECÍFICO.

671. Llámase *calórico específico ó capacidad calorífica* de los cuerpos la cantidad de calor que se necesita para elevar de un grado su temperatura, con relacion á la cantidad de calor que para el mismo efecto necesita el agua. Se ha tomado por unidad de calor, la canti-

dad de calor necesario para elevar la temperatura de un kilógramo de agua, de cero á un grado. Esta unidad de calor ha recibido el nombre de *caloria.*

672. El calórico específico es diferente para cada cuerpo, porque necesitan diferentes cantidades de calor para elevar su temperatura de un grado. Mézclese por ejemplo un kilógramo de mercurio á 100°, con igual peso de agua á cero, la temperatura de la mezcla es de solos tres grados, luego 97 grados de calor del mercurio se han necesitado para elevar el agua á solos tres grados. Sea pues c la capacidad calorífica de la unidad de peso de un cuerpo; la masa m para calentarse de un grado, necesitará mc y para t grados será mct. Esta relacion subsiste, cuando se busca la capacidad media del mismo cuerpo, entre límites diferentes que no pasen de muchos grados.

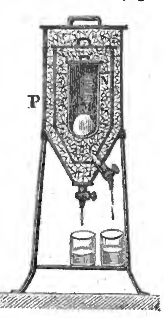
673. Tres métodos se han inventado para averiguar la capacidad calorífica de los cuerpos, que son: el de las mezclas, el de la fusion del hielo, y el del enfriamiento de los cuerpos. En el método de las *mezclas* se hace uso de un vaso metálico de paredes muy finas, para que fácilmente tome la temperatura de la mezcla que debe contener, colocado sobre piés de madera ó de vidrio, ó sostenido por hilos de seda, para que no pierda fácilmente el calor recibido. En este vaso se echa agua, cuya temperatura se determina con un termómetro, y en ella se sumerge el cuerpo caliente, cuya capacidad se busca, y que suele ser una laminita en espiral, para que fácilmente ceda su calor al agua. Esta y el vaso se calientan rápidamente por efecto del calor que pierde el cuerpo sumergido, tomando todos igual temperatura. Sea t la temperatura inicial del cuerpo, m su masa x su capacidad, θ la temperatura comun; la cantidad de calor perdido será $mx(t-\theta)$; sea m' la masa del agua c su capacidad, t' su temperatura inicial, como tambien la del vaso, cuya masa sea n y su capacidad c', la cantidad de calor adquirida por el agua y el vaso será $m'c(\theta-t')+nc'(\theta-t')=(m'c+nc')(\theta-t')$, y como estos cuerpos se han calentado por el calor perdido del cuerpo caliente, se tendrá $mx(t-\theta)=(m'c+nc')(\theta-t')$.

674. En este método se determina de antemano la capacidad calorífica del vaso, por medio de una espiral de su misma sustancia, por lo que la ecuacion será $mx(t-\theta)=(m'c+nx)(\theta-t')$, y despejando x, se tendrá $x=\frac{m'c(\theta-t')}{m(t-\theta)-n(\theta-t')}$. Sea $m=151$ gramos de laton, $m'=650$ gr. de agua, $n=40$ gr. del vaso; $t=99^o$, $t'=10$, $\theta=11^o,9$ se tendrá $x=0,094c$. Por lo que $c : x :: 1 : 0,094$ calórico específico del laton. Por consiguiente el calor tomado por este vaso de laton para calentarse de un grado, será $40\times0,094$gr.$\times1\times c=3,76$gr.$\times c$; es decir que tomaria un calor, cual tomaria una masa de agua de 3,76 gramos. Este valor se llama *valor del vaso en agua*. Conocida una vez la capacidad del vaso, se determinan las capacidades de otras sustancias.

675. El método de la *fusion del hielo* consiste en observar el peso de hielo que ha derretido un cuerpo caliente, enfriándose hasta cero.

Sea m el peso del cuerpo, x su capacidad, t la temperatura, y p el peso de hielo derretido; la cantidad de calor que el cuerpo habrá perdido será mxt. Sabiéndose por otra parte, (684) que para derretir una unidad de peso de hielo se necesitan 79 unidades de calórico específico del agua, se tendrá tambien $p.\ 79\ c$; por lo que $mxt = p.\ 79\ c$ de donde $x = \frac{p.79c}{mt}$.

676. Para llegar á este resultado se hace uso ó del pocito de hielo, ó del calorímetro llamado de Lavoisier. El primer aparato consiste en practicar un hoyo con un hierro encendido en un trozo de hielo, que luego se cubre de una gruesa lastra tambien de hielo: dentro se pone el cuerpo á una temperatura elevada, y cuando se juzga que se ha totalmente enfriado, se saca y se pesa toda el agua formada, y por medio de la ecuacion precedente se obtiene el valor de x. El calorímetro de Lavoisier (fig. 111), consiste en un vaso de tres capacidades, una dentro de otra: en la interior M se pone el cuerpo caliente, y las otras dos se llenan de hielo machacado, saliendo el agua que se va formando, por medio de un tubo que se adapta á su parte inferior. El hielo de la capacidad exterior P se derrite por efecto de la temperatura del aire exterior; pero el hielo de la segunda N se derrite únicamente por efecto del calor recibido del cuerpo caliente. Por lo que el agua recogida de esta segunda capacidad dará el valor de x por la fórmula precedente.



(Fig. 111.)

677. El método del *enfriamiento* consiste en llenar sucesivamente un vaso con diferentes cuerpos, y observar el tiempo que emplea en enfriarse de un mismo número de grados, desde una misma temperatura. Estos tiempos son proporcionales á las cantidades de calor que dichos cuerpos han perdido, y por consiguiente á sus capacidades; porque teniendo el cuerpo el mismo poder emisivo, pierde la misma cantidad de calor en el mismo tiempo, y por un mismo exceso de temperatura (729). Sean m, m' los pesos de las sustancias puestas en el vaso, x, x' sus capacidades, p el valor en agua del vaso y a, a' los tiempos empleados en enfriarse de un mismo número t de grados desde el mismo límite de temperatura; para un cuerpo la cantidad perdida de calor será $(mx+pc)t$, y para el otro será $(m'x'+pc)t$ de donde $\frac{mx+pc}{m'x'+pc} = \frac{a}{a'}$.

678. Los dos primeros métodos son aplicables á los sólidos y á los líquidos; pero el tercer método no es muy exacto para los sólidos; porque desde el interior del cuerpo no se puede comunicar con la de-

bida velocidad el calor á medida que la superficie lo irradia; además no es fácil que los sólidos reducidos á polvo se aprieten igualmente, sin lo cual no se obtendria un valor exacto.

679. Si se aplican los métodos expuestos á la determinacion de la capacidad media calorífica entre 0° y 100°, entre 100° y 200° ó 300° etc., se observa que el valor medio es algo mayor, cuanto mas elevada es la temperatura; de lo que se concluye que los cuerpos aumentan de capacidad, aumentando de volúmen por efecto del calor.

680. Para determinar la capacidad de los gases se hace uso de un serpentin colocado dentro de un vaso de agua, á través del cual se hace pasar el gas caliente con una constante velocidad. El agua y el serpentin se calientan por el calor que pierde el gas, y para que el resultado sea independiente de la irradiacion del vaso, se abaja la temperatura del agua tres ó cuatro grados debajo de la temperatura del ambiente, y se termina la operacion, cuando haya llegado á tres ó cuatro grados sobre la temperatura del mismo ambiente. Sea pues m el peso del gas, que ha pasado por el serpentin, x su capacidad, y t su temperatura inicial, sea m' el peso del agua comprendido el vapor en agua del vaso y del serpentin, c su capacidad, t' su temperatura inicial y θ la que llega á tomar al fin del experimento. El calor recibido por el agua, el vaso y el serpentin será $m'c(\theta-t')$, y la cantidad de calor perdida del gas será $mx(t-T)$, siendo T la temperatura que tiene el gas al salir. Esta temperatura es siempre la que por grados va adquiriendo el agua, y así varia de t' hasta θ, pero se podrá tomar un valor medio, á saber $\frac{t'+\theta}{2}$ para expresar esta temperatura, y así el calor perdido estará representado por $mx\left(t-\frac{t'+\theta}{2}\right)$, y se tendrá la ecuacion $mx\left(t-\frac{t'+\theta}{2}\right)=m'c(\theta-t')$.

Hé aquí una tabla del calórico específico de varios cuerpos.

Agua. . . .	1,00000	Cobre. . .	0,09515	Hidrógeno. . . .	3,2936
Azufre. . .	0,20187	Laton. . .	0,09391	Vapor de agua. . .	0,8470
Vidrio. . .	0,19786	Plata. . .	0,05701	Bicarburo de hidróg.	0,4207
Fósforo. . .	0,18949	Estaño.. .	0,05623	Nitrógeno.. . . .	0,2754
Diamante. .	0,14687	Mercurio. .	0,03332	Aire..	0.2669
Acero dulce..	0,11650	Oro.. . .	0,03244	Oxígeno.	0,2361
Hierro. . .	0,11379	Platino. .	0,03243	Acido carbónico.. .	0,2210
Zinc. . . .	0,09555	Plomo.. .	0,03140	» » » » »	» » »

CAPÍTULO VIII.

DEL CAMBIO DE ESTADO DE LOS CUERPOS.

681. Siendo efecto del calor dilatar los cuerpos, tal podrá ser este calor, que al fin rompa la coherencia de las moléculas de los sólidos y entonces el cuerpo pasará al estado líquido, y si aumenta la fuerza del calor, el mismo líquido tomará la forma gaseosa; al revés, disminuyendo la temperatura, las moléculas se podrán acercar las unas á las otras, de modo que comiencen á experimentar su mútua atraccion, y entonces el cuerpo gaseoso pasará al estado líquido, y si aun disminuye el calor, al fin la fuerza atractiva de las moléculas producirá la solidificacion del cuerpo. Luego el diferente estado de los cuerpos es debido á la mayor ó menor fuerza repulsiva del calor, que vence, se equilibra, ó es menor que la fuerza atractiva de que está dotada la materia. Así es que se ven pasar todos los cuerpos al estado líquido por este medio, á escepcion del diamante, que para su fusion no se ha podido obtener una suficiente temperatura, y algunas otras sustancias, como las maderas, que se descomponen antes de llegar al punto de su fusion. Igualmente todos los líquidos se volatilizan con el calor. Al revés los cuerpos aeriformes pasan al estado líquido, bajando convenientemente la temperatura, á escepcion del oxígeno, hidrógeno y nitrógeno que para su licuefaccion no se ha llegado á obtener una suficiente disminucion de temperatura. Igualmente todos los líquidos se hacen pasar al estado sólido, á escepcion del alcohol y del eter, que para este efecto no se ha podido bajar suficientemente su temperatura. M. Despret con una mezcla de protóxido de nitrógeno reducido á líquido, ácido carbónico sólido y eter ha conseguido producir un frio tan intenso, que el alcohol ha tomado el estado de un jarabe espeso.

682. La experiencia nos da á conocer que el punto de fusion, aunque diferente en los diferentes cuerpos, es invariable para cada uno de ellos. La tabla siguiente indica el grado, en que se funden los cuerpos siguientes:

Mercurio.	—40°	Azufre.	111
Aceite de trementina.	—10	Estaño.	228
Hielo.	0	Bismuto.	264
Sebo.	33	Plomo.	335
Fósforo.	44	Zinc.	423
Potasio.	55	Bronce.	900
Cera blanca..	63	Plata pura..	1000
Sodio..	90	Oro puro.	1250
Aleacion d'Arcet (1 plomo, 1 Estaño, 4 Bismuto.) .	94	Acero.	1300
		Hierro dulce.	1500

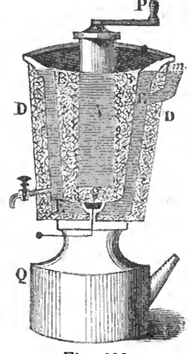
683. Además consta por la experiencia, que durante la fusion de la sustancia, su temperatura permanece constante. Así el hielo mientras se derrite conserva siempre su temperatura 0°. Este calor que se comunica al cuerpo para su fusion, y que es absorbido por el mismo cuerpo, se llama *calórico latente*, porque no es sensible al termómetro.

684. Para determinar la cantidad de calor que la unidad de masa de un cuerpo absorbe, para derretirse, sirve el método de las mezclas (673). Sea m la masa del hielo á cero, y x la cantidad de calor necesaria para derretirse, la cantidad de calor absorbido será mx. Sea m' una masa de agua caliente á t grados que, mezclándola con la masa m de hielo, la derrite, y sea θ la temperatura final de la mezcla. El agua caliente habrá perdido una cantidad de calor expresada por $m'c(t-\theta)$, y la masa m habrá tomado el calor mx mas $mc\theta$ para subir á θ grados el agua formada por la masa m de hielo: luego se tendrá la ecuacion $mx+mc\theta=m'c(t-\theta)$: despejando x se obtiene $x=79c$; lo que indica que el calor absorbido por la unidad de peso del hielo seria capaz de calentar de un grado, 79 unidades de agua, ó bien de elevar la temperatura de la unidad de agua á 79 grados.

685. Algunos sólidos combinándose pasan al estado líquido, y no comunicándoles el calor, que para esta accion necesitan, baja su temperatura. En este principio se fundan las *mezclas frigoríficas*. Hé aquí una tabla de las proporciones de diferentes sustancias, que deben emplearse, para producir un determinado descenso de temperatura.

SUSTANCIAS.	PARTES EN PESO.	DESCENSO DE TEMPERATURA.
Sulfato de soda. . . .	8	+ 10° á — 17°
Acido clorhídrico. . . .	5	
Sulfato de soda. . . .	3	
Acido nítrico diluido. .	2	+ 10° á — 19°
Fosfato de soda. . . .	9	
Acido nítrico diluido. .	4	+ 10° á — 29°
Nieve.	2	
Sal marina ó comun. . .	1	+ 10 á — 18
Nieve.	1	
Acido sulfúrico. . . .	1	— 6° á — 51°
Nieve.	1	
Acido nítrico diluido. .	1	— 18° á — 43°
Hidroclorato de cal. . .	2	
Nieve.	1	— 17° á — 54°
Hidroclorato de cal. . .	3	
Nieve.	1	— 40° á — 58°
Acido sulfúrico diluido. .	10	
Nieve.	8	— 55° á — 68°

686. Para obtener este efecto se hace uso de una garapiñera, que consta de un cilindro metálico dividido en cuatro compartimientos concéntricos. En el central A (fig. 112) que es la sorbetera, está el agua ó sustancia que quiere helarse; en el inmediato B se pone la mezcla frigorífica de sulfato de soda y ácido clorhídrico; en la siguiente E se introduce agua por el embudito *m*, y finalmente en la exterior D se mete un cuerpo poco conductor del calor, como algodon ó paja. Girando pues la sorbetera por medio del manubrio P, la mezcla frigorífica se derrite, produciendo la congelacion de las sustancias contenidas en ella, como tambien la del agua contenida en la capacidad E. El medio mas á propósito para producir el debido enfriamiento, consiste en formar la mezcla frigorífica de un modo sucesivo, para lo cual despues de unos 5 ó 6 minutos de accion se derrama en el vaso Q la mezcla ya licuada levantando una válvula que hay en el fondo del vaso B y poniendo nueva mezcla en dicha capacidad: lo cual repetido 3 ó 4 veces, determina la perfecta congelacion de las sustancias en unos 24 minutos.



(Fig. 112.)

687. Cuando el líquido vuelve al estado sólido, deja libre todo aquel calor que habia absorbido durante la fusion. Así se observa que encerrando el agua en un tubo estrecho, y preservándola de toda agitacion, se puede hace bajar su temperatura á unos 12° bajo cero, sin que se hiele, pero la mas mínima agitacion determina la congelacion de una parte del líquido, tomando lo restante la temperatura cero; luego la parte solidificada ha perdido el calor necesario para hacer subir la temperatura de la parte, que queda líquida.

688. Tambien el calor perdido por un cuerpo al solidificarse se puede determinar por el método de las mezclas. Sea x este calor, m la masa, t' la temperatura y c' su calórico específico; sea m' la masa de agua fria comprendido el valor en agua del vaso, t su temperatura inicial, y θ la temperatura, que luego todos toman; el calor cedido por la masa m será $mx+mc'(t'-\theta)$, y el que toma el agua será $m'c(\theta-t)$, luego se tendrá la fórmula $mx+mc'(t'-\theta)=m'c(\theta-t)$.

689. Algunos líquidos pasando al estado sólido disminuyen de volúmen, otros se dilatan como el bismuto, y sobre todos el agua que aumenta de $\frac{1}{14}$ de su volúmen. Este efecto se debe atribuir á la diferente disposicion de las moléculas del cuerpo al comenzar á cristalizar ayudado del calor, que en este acto se desprende, el cual, como se ha dicho, es muy considerable en el hielo. Por efecto de esta dilatacion muchas veces se rompen los vasos, en que se hace

helar el agua, y hasta las mas duras piedras, y los mismos metales.

690. Calentando un líquido, su temperatura se eleva hasta un cierto punto, en que entra en ebullicion, y entonces conserva una temperatura constante, empleándose todo el calor, que se le comunica en la formacion de vapor. Luego los líquidos, pasando al estado aeriforme, absorben calor que se hace latente, ó insensible al termómetro. Este calor absorbido lo desprenden otra vez los vapores, volviendo al estado líquido.

691. Para medir esta cantidad de calor desprendida por el vapor, se hace uso del mismo aparato descrito para hallar el calórico específico de los gases, y de la fórmula $mx+mc\left(t'-\frac{t+\theta}{2}\right)=m'(\theta-t)c$, en la que mx expresa el calórico latente de la masa m de vapor, $mc\left(t'-\frac{t+\theta}{2}\right)$ expresa la cantidad de calor, que la misma masa m pierde pasando de la temperatura de ebullicion á la temperatura θ que toma juntamente con el agua fria y finalmente $m'(\theta-t)c$ indica el calor tomado por la masa m' de agua fria. Así se ha hallado que x es igual á 536 c en el vapor de agua; lo que indica que el calor desprendido por el vapor, al condensarse, es capaz de calentar de un grado 536 unidades de agua. Y como esta cantidad de calor es absorbida al pasar el agua al estado de vapor, se sigue, que para que una masa de agua evaporize, se necesita una cantidad de calor igual á 636 c. Este calor desprendido por el vapor de agua se emplea frecuentemente para calentar los baños y las salas, reemplazando ventajosamente el uso de otros caloríferos.

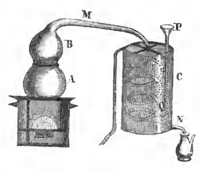
692. Si un líquido pasa al estado de vapor sin recibir el calor, que para este efecto necesita, por precision el vapor que se forme lo tomará del mismo líquido, y de los cuerpos con quienes está en contacto, que por consguiente se enfriarán. De este modo se llega á helar el agua puesta debajo de la campana de la máquina neumática, haciendo el vacío, y poniendo debajo de ella un vasito de ácido sulfúrico concentrado, que absorbe los vapores acuosos á medida que se forman. De todos es conocido el frio que experimentamos mojando las manos, y no enjugándolas: mucho mas intenso es el frio, sirviéndonos de un líquido muy volátil como el eter, y mejor aun el ácido sulfuroso líquido, y sobre todo el ácido carbónico líquido, por cuya evaporacion se llega á producir un frio de 100° bajo cero, y la solidificacion del mismo ácido (*a*). En los paises calientes se refresca el agua, poniéndola en

---

(*a*) Mrs. Driot y Loir haciendo pasar una corriente rápida de aire por el eter, que lo hace evaporar casi súbitamente, producen un frio de—31° que liquida el ácido sulfuroso, este evaporando casi espontáneamente, da un frio de—50°, que liquida el gas amoniaco, el cual evaporando instantáneamente determina un frio de—65°, que liquida el ácido carbónico, y finalmente evaporando este, da un frio de 87° (Cosm. T. 16, p. 606).

alcarazas, que son vasos muy porosos en cuya superficie se evapora el agua, que pasa á través de sus poros.

693. En la trasformacion de los líquidos en vapor, por la accion del calor, y en la condensacion de los vapores por el enfriamiento, se funda la operacion de la destilacion, por medio de los aparatos llamados *alambiques*. El alambique consta de tres piezas distintas: 1.ª de la *cucurbita ó caldera* A (fig. 113) que contiene el líquido; 2.ª del *capitel* B que está encima de la caldera, que recoje los vapores formados; y tercera de un serpentin ó tubo en hélice MN colocado dentro un vaso C de agua fria, donde se condensa el vapor enfriándose: la extremidad M del serpentin comunica con el capitel, y por la otra N sale el líquido destilado. Como los vapores por el calor que desprenden al condensarse, calentarian muy presto el agua del vaso, que envuelve el serpentin, debe esta agua continuamente renovarse con agua fria, que se introduce por el tubo PQ, que llega casi hasta el fondo del vaso C.



(Fig. 113.)

CAPÍTULO IX.

DE LA TENSION DE LOS VAPORES.

694. Los líquidos despiden vapores á temperaturas mas bajas, que el punto en que hierven: estos vapores tienen una tension ó fuerza expansiva tanto menor, cuanto mas baja es la temperatura en que se desarrollan. Para observar y medir esta tension, se llena de mercurio un tubo barométrico, dejando una pequeña parte, que se acaba de llenar de un líquido cualquiera: poniendo el dedo en el orificio, y revolviendo el tubo en un vaso de mercurio, el líquido sube á la parte superior, y porcion de él se convierte instantáneamente en vapor, por cuya causa el mercurio queda suspendido á una altura inferior de la que tiene en el barómetro; por lo que la diferencia de estas dos alturas, debida á la presion del vapor formado, medirá su tension ó fuerza elástica.

695. Con este procedimiento se reconoce 1.º que los vapores de los diferentes líquidos tienen diferente tension á igualdad de temperatura. Así á la temperatura de 20° la tension del vapor de agua es

17 milim., la del alcohol 60, y la del eter 400. 2.° Se ve que los vapores tienen una tension máxima á cada grado de temperatura, de modo que si se los comprime algo mas, porcion del vapor vuelve al estado líquido; lo que es fácil observar, sumergiendo mas ó menos en el vaso de mercurio el tubo barométrico; el espacio ocupado por el vapor disminuye mas ó menos, y no obstante la columna del mercurio sobre el nivel del mercurio del vaso queda siempre la misma; luego el vapor no aumenta su tension. Por tanto la cantidad de vapor, que ocupa un espacio es siempre proporcional á este mismo espacio, con tal que el vapor esté en contacto del líquido, que lo produce. Esta propiedad distingue esencialmente los vapores de los gases permanentes, los cuales disminuyendo de volúmen, aumentan en tension.

696. Cuando un espacio contiene el vapor en su máximo de tension ó de densidad, no puede recibir nuevo vapor, sin que pase al estado líquido, y por esto se llama *espacio saturado* ó *vapor saturado*. Si el vapor no está en su máximo de tension, entónces este aumenta ó disminuye en razon inversa del volúmen, segun la ley de Mariotte; lo que se demuestra, introduciendo en el tubo barométrico una ó dos gotas solamente del líquido, que debe convertirse en vapor. Por esta razon el vapor no puede tener su tension máxima, ó no puede ser saturado, sino estando en contacto con el líquido que lo produce.

697. La tension máxima que tienen los vapores en una determinada temperatura, crece con la misma temperatura. Para determinar el valor de las diferentes tensiones, se hace uso del aparato de Dalton que consiste en un vaso de vidrio lleno de agua, donde se sumerge el tubo barométrico precedentemente descrito. Se eleva la temperatura del agua del vaso, grado por grado, y al mismo tiempo se observa la diferencia de las alturas del mercurio en el barómetro y en el tubo, que contiene el vapor. Si el vapor es de agua, se ve que cuando el agua del vaso empieza á hervir, la altura del mercurio en dicho tubo es cero; lo que demuestra que su tension ó fuerza expansiva se equilibra con la presion de la atmósfera. Modificando convenientemente el aparato, como lo ha hecho Mr. Regnault, se pueden determinar las tensiones de los vapores, no solo para temperaturas entre cero y el punto de ebullicion, sino tambien debajo y encima de estos dos límites.

698. Las tablas siguientes manifiestan la tension del vapor en las diferentes temperaturas: la primera expresa la tension en milímetros de altura de mercurio á cero; y la segunda en atmósferas, segun Mr. Regnault.

TEMPERATURA.	TENSION.	TEMPERATURA.	TENSION.	TEMPERATURA.	TENSION.	TEMPERATURA.	TENSION.
—30°	0,365	10°	9,165	50°	91,982	90°	525,450
—20	0,841	20	17,391	60	148,791	100	760,000
—10	1,963	30	31,548	70	233,093		
0	4,600	40	54,906	80	354,643		

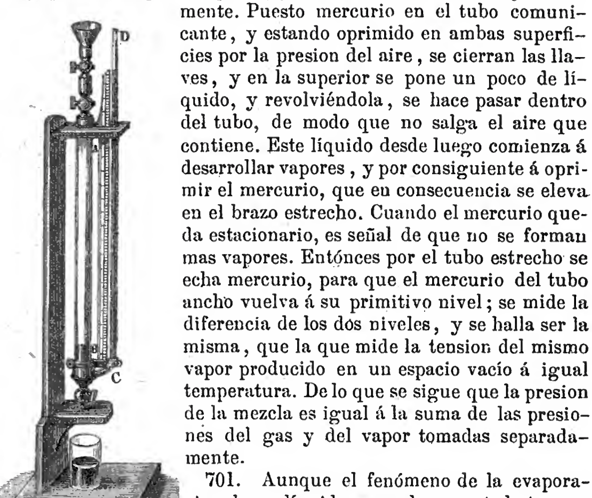
TEMPERATURA.	ATMÓSFERAS.	TEMPERATURA.	ATMÓSFERAS.	TEMPERATURA.	ATMÓSFERAS.	TEMPERATURA.	ATMÓSFERAS.
100°,0	1	165,3	7	192,1	13	210°,4	19
120,6	2	170,8	8	195,5	14	213,0	20
133,9	3	175,8	9	198,8	15	215,5	21
144,0	4	180,3	10	201,9	16	217,9	22
152,2	5	184,5	11	204,9	17	220,3	23
159,2	6	188,4	12	207,7	18	222,5	24

Estas tablas hacen ver 1.° que la tension crece incomparablemente mas que la temperatura; 2.° que el aumento de esta es tanto menor, cuanto es mas elevada.

699. Cuando dos vasos que contienen un mismo líquido á diferentes temperaturas comunican entre sí por medio de un tubo, los vapores que emiten, teniendo diferente tension, no pueden hacerse equilibrio, sino que el vapor del vaso mas caliente se precipita hácia el vaso frio, donde se condensa, por hallarse en temperatura menor; de modo que siempre el vapor tiende á ponerse en equilibrio de tension con el vapor emitido por el vaso frio. Por lo que si los vasos se mantienen constantemente en su temperatura inicial, constantemente el vaso caliente despedirá vapores de la misma tension, que se irán á condensar en el vaso frio, hasta evaporarse completamente toda la masa del líquido caliente.

700. Introduciendo un líquido en un espacio ocupado por un gas, tambien despide vapor hasta saturarlo, y la tension del vapor formado es la misma que si estuviese solo, en igualdad de temperatura; de lo que se sigue que el vapor en un gas tiene la misma densidad que en el vacío, ó lo que es lo mismo, en ambos casos se desprende igual cantidad de vapor; con esta diferencia que en el vacío se produce ins-

tantáneamente, pero en un gas, con lentitud. Para observar estos efectos se hace uso del aparato de *Gay-Lussac* (fig. 114), que consiste en un tubo vertical AB de vidrio, con quien comunica otro mas estrecho CD. En la parte superior A del tubo ancho hay dos llaves, una agujereada de parte á parte, y la de encima con un hoyo solamente. Puesto mercurio en el tubo comunicante, y estando oprimido en ambas superficies por la presion del aire, se cierran las llaves, y en la superior se pone un poco de líquido, y revolviéndola, se hace pasar dentro del tubo, de modo que no salga el aire que contiene. Este líquido desde luego comienza á desarrollar vapores, y por consiguiente á oprimir el mercurio, que en consecuencia se eleva en el brazo estrecho. Cuando el mercurio queda estacionario, es señal de que no se forman mas vapores. Entónces por el tubo estrecho se echa mercurio, para que el mercurio del tubo ancho vuelva á su primitivo nivel; se mide la diferencia de los dos niveles, y se halla ser la misma, que la que mide la tension del mismo vapor producido en un espacio vacío á igual temperatura. De lo que se sigue que la presion de la mezcla es igual á la suma de las presiones del gas y del vapor tomadas separadamente.



(Fig. 114.)

701. Aunque el fenómeno de la evaporacion de un líquido se produce en toda temperatura y presion, no obstante la rapidez de la evaporacion depende 1.° de la temperatura del líquido, porque los vapores formados teniendo mayor tension, cuanto mas elevada es su temperatura, pueden mas fácilmente vencer los obstáculos, que se les oponen. 2.° Por la misma razon la evaporacion será tanto menor, cuanto mas denso será el gas, en medio del cual se produce; así es mayor en el aire que en el ácido carbónico, y es máxima en el hidrógeno. 3.° Depende tambien de la cantidad de vapor que ya se contiene en el ambiente: siendo nula en un ambiente saturado, y máxima en un ambiente perfectamente seco. 4.° Así la agitacion del ambiente la favorece tambien, porque el líquido se halla en contacto con un nuevo ambiente aun no saturado.

CAPÍTULO X.

DE LA EBULLICION DE LOS LÍQUIDOS.

702. El fenómeno de la ebullicion de los líquidos se reconoce por las burbujitas de vapor, que se forman en todos los puntos de la masa líquida, y que por su ligereza suben á la superficie. La ebullicion sucede siempre á la misma temperatura en igualdad de otras circunstancias, porque el vapor que se desprende debe tener la tension suficiente para vencer la presion atmosférica aumentada de la presion del mismo líquido, y en diferentes temperaturas el vapor tiene diferente tension.

703. De aquí se sigue que todos los líquidos en su superficie desprenden vapores de igual tension, porque todos deben vencer la misma presion, que es la de la atmósfera. Y como los vapores de las diferentes sustancias tienen diferente tension á una misma temperatura, resulta que hierven á diferente temperatura. Hé aquí una tabla del punto de ebullicion de algunas sustancias bajo la presion de 760 milímetros.

SUSTANCIAS.	EBULLICION.	SUSTANCIAS.	EBULLICION.
Acido carbónico. .	—78°	Esencia de trementina. .	157°
Amoniaco anhidro.	—35	Fósforo.	290
Acido sulfuroso. .	—10	Acido sulfúrico concent.	325
Eter sulfúrico. . .	38	Mercurio.	350
Alcohol.	78	Aceite de linaza. . . .	387
Agua destilada. .	100	Azufre.	440

704. Por la misma razon un líquido bajo una atmósfera menos pesada hierve á menor temperatura. Así el agua bajo la presion de 380^{mm} hierve á 80°, porque en este grado el vapor tiene la tension de 380^{mm}. Por lo que en las altas montañas el agua hierve á menor temperatura, porque allí la presion atmosférica es menor. Por esta razon para fijar el límite 100° de la escala termométrica es necesario hacer hervir el agua bajo la presion normal de 760 mm., ó referirlo á ella como se dijo en el núm. 634. Así tambien con la máquina neumática se puede hacer hervir el agua á una temperatura muy baja, con tal que se absorban los vapores, que se desarrollan.

705. Hirviendo el agua á una temperatura tanto menor, cuanto menor es la presion que sufre, Vollaston propuso la aplicacion del termómetro á la medicion de altu-

ras, observando el grado termométrico de la ebullicion del agua; á cuyo efecto puede servir la tabla siguiente construida por Regnault, que da la relacion entre la temperatura de la ebullicion, y la tension del vapor que vence la presion admosférica.

TABLA DE LAS TENSIONES DEL VAPOR DE AGUA EN MILÍMETROS DESDE 85° HASTA 101° SEGUN M. REGNAULT.

TEMPERATURA.	TENSION.	TEMPERATURA.	TENSION.	TEMPERATURA.	TENSION.	TEMPERATURA.	TENSION.
85,0	433,04	89,0	505,76	93,0	588,41	97,0	682,03
1	4 75	1	7,70	1	590,61	1	4,52
2	6'46	2	9.65	2	2,82	2	7,02
3	8,17	3	511,60	3	5,04	3	9,53
4	9,89	4	3,56	4	7,26	4	692,04
5	441,62	5	5 53	5	9,49	5	4.56
6	3,35	6	7,50	6	601,72	6	7,08
7	5,09	7	9.48	7	3,97	7	9.61
8	6,84	8	521,46	8	6,22	8	702,15
9	8,59	9	3.45	9	8 48	9	4,70
86,0	450,34	90,0	5,45	94,0	610.74	98,0	7.26
1	2.10	1	7.45	1	3,01	1	9,82
2	3,87	2	9.46	2	5,29	2	712.39
3	5,64	3	531,48	3	7,58	3	4.97
4	7,42	4	3,50	4	9,87	4	7,56
5	9,21	5	5,53	5	622,17	5	720,15
6	461,00	6	7,57	6	4,48	6	2,75
7	2,80	7	9,61	7	6,79	7	5.35
8	4,60	8	541.66	8	9,11	8	7,96
9	6,41	9	3,72	9	631,44	9	730.58
87,0	8,22	91,0	5,78	95,0	3,78	99.0	3,21
1	470,04	1	7,85	1	6,12	1	5,85
2	1.87	2	9,92	2	8,47	2	8.50
3	3,70	3	552.00	3	640,83	3	741,16
4	5.54	4	4,09	4	3,19	4	3,83
5	7.38	5	6,19	5	5,57	5	6,50
6	9.23	6	8,29	6	7,95	6	9,18
7	481,08	7	560,39	7	650,34	7	751,87
8	2,94	8	2 51	8	2,73	8	4,57
9	4,81	9	4,63	9	5,13	9	7,28
88,0	6,69	92,0	6,76	96,0	7,54	100,0	760.00
1	8,57	1	8,89	1	9,95	1	2,73
2	490,45	2	571,03	2	662,37	2	5,46
3	2,34	3	3,18	3	4,80	3	8,20
4	4.24	4	5,34	4	7,24	4	771,95
5	6.15	5	7,50	5	9,69	5	3.71
6	8,06	6	9,67	6	672,14	6	6,48
7	9,98	7	581,84	7	4,60	7	9,26
8	501,90	8	4,02	8	7,07	8	782,04
9	3,82	9	6.21	9	9,55	9	4,83
						101,0	7,63

706. Cerrando herméticamente el agua dentro de un vaso, es imposible hacerla hervir, porque á medida que crece la temperatura, el vapor formado tiene tambien mayor tension. Si entonces se abre un

orificio, el vapor sale con una violencia correspondiente á la tension que tiene, produciéndose inmediatamente una nueva cantidad de vapor por efecto de la temperatura elevada que tiene el líquido. De modo que se puede concebir la posibilidad, de que se forme en un dado tiempo tanto vapor cuanto sale.

707. En el principio expuesto se funda la construccion de la marmita de *Papin* y del *Autoclave*. La primera es una caldera cilíndrica, cuya tapadera se sujeta por medio de tornillos de presion sobre los bordes. El segundo es un vaso elíptico, y la tapadera se introduce dentro la caldera, aplicándola luego hácia arriba, de modo que cuanto mayor es la fuerza del vapor formado, tanto mas oprimida queda contra los bordes de la misma caldera. Ambos aparatos llevan una válvula de seguridad, que el vapor abre al llegar á una determinada tension.

708. Si bien la presion del vapor formado impide la ebullicion de los líquidos contenidos en vasos herméticamente cerrados, con todo parece que el estado líquido reconoce un límite, pues introduciendo agua, alcohol ó éter en un grueso tubo de vidrio, que se suelda á la lámpara despues de haber expulsado el aire por medio de la ebullicion, llega un momento en que de improviso desaparece el líquido, trasformándose enteramente en vapor, cuyo volúmen es poco superior al del líquido. Así el éter se reduce enteramente á vapor á 200° en una capacidad menor que el doble de su volúmen en estado líquido.

709. Cuando el agua tiene en disolucion una sustancia, hierve á una temperatura mas ó menos elevada segun que el líquido resulta mas ó menos denso. Así el agua salada hierve á 109° y mezclada con alcohol hierve antes de 100°. La naturaleza del vaso altera tambien el punto de la ebullicion, de modo que el agua hierve en una temperatura de 2 ó mas grados mas baja en un vaso metálico, que en uno de vidrio, pero basta echar en el vaso de vidrio un fragmento de metal, para que la ebullicion tenga lugar á la misma temperatura que en un vaso metálico. Conviene observar, que en todos estos casos aunque el agua tenga una temperatura mayor de 100° grados, el vapor emitido tiene siempre la misma temperatura de 100° como si se desprendiese del agua destilada.

710. Echando un líquido sobre una superficie incandescente, en vez de hervir, toma inmediatamente una forma globulosa ó *esferoidal*, y se evapora lentamente, como si estuviese en una temperatura menor de su punto de ebullicion. Para que este fenómeno tenga lugar, para el agua el vaso debe tener una temperatura á lo menos de 200°; y en general la temperatura debe ser tanto mas elevada, cuanto mas lo es el punto de ebullicion del líquido. En este estado el líquido tiene siempre una temperatura menor del punto de su ebullicion. Por lo que hirviendo el ácido sulfuroso á—10°, su temperatura en el estado esferoidal es de—10°,5; y así si encima de él se echa

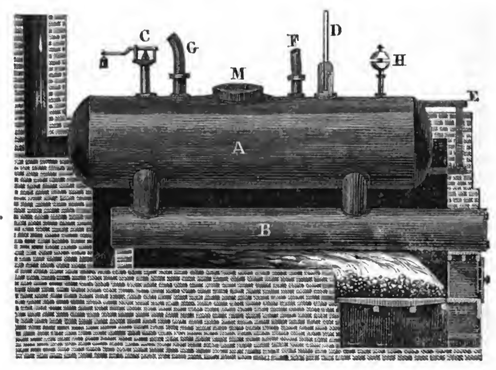
un poquito de agua, esta se congela, á pesar de hallarse en una cápsula de platino incandescente. Mr. Boutigny, que se ha ocupado mucho en esta clase de observaciones, ha hecho ver que el estado esferoidal no es propio solo de los líquidos, sino que tambien lo toman muchos sólidos, como el cloruro y nitrato de amoniaco, el alcanfor, el iodo, la cera, el sebo, etc. y de un modo extraordinario el hielo. En el estado esferoidal no hay contacto entre el líquido y el vaso que lo contiene, pues entre los dos se puede observar de un modo contínuo una llama. Por este motivo se cree, que el líquido se halla sostenido por la tension de una capa de vapor que lo envuelve; y así no se calienta por contacto sino solo por irradiacion.

CAPÍTULO XI.

DE LAS MÁQUINAS DE VAPOR.

711. Las *máquinas de vapor* son unos aparatos, que sirven para utilizar la fuerza elástica del vapor de agua como fuerza motriz. Toda máquina de vapor consta de dos partes distintas, á saber, del *generador* donde se desarrolla el vapor, y de la máquina propiamente dicha, donde el vapor imprime el movimiento.

712. El *generador* (fig. 115) consiste en un cilindro de palastro A



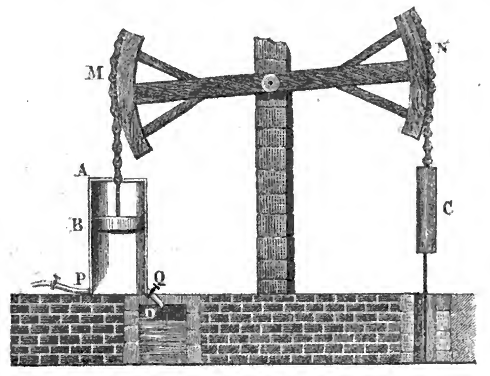
(Fig. 115.)

cuyas extremidades son esféricas, que comunica por debajo con otros dos cilindros B de menor diámetro llamados *hervideros*, los cuales reciben la parte mas activa del fuego alimentado con ulla ó carbon ordinario. Los hervideros están completamente llenos de agua, y la cal-

dera ó generador lo está hasta la mitad poco mas ó menos. En las máquinas locomotoras los hervideros son reemplazados por una multitud de tubos horizontales enteramente metidos en la caldera, pero que su interior comunica con la caja del fuego, dando así paso á los productos de la combustion al dirigirse á la chimenea.

713. En el generador se acostumbra á poner siempre: 1.° Una válvula de seguridad C que se sujeta con una palanca cargada por un peso. 2.° Un *manómetro* D de compresion, que indica la tension que tiene el vapor en la caldera. 3.° Un tubo de vidrio llamado *indicador* E, que comunica por sus dos estremos con la caldera, destinado á indicar el nivel del agua. 4.° Otro tubo F destinado á introducir el agua, cuando se necesita. 5.° Otro tubo G para conducir el vapor. 6.° El *silbato de alarma* H, que es un tubo, que penetra dentro del agua hasta un cierto punto, y está tapado por debajo con una válvula apretada por la misma agua. Si esta baja hasta aquel punto, la válvula se abre y da salida al vapor, que rozando los bordes de un disco metálico colocado en la parte superior del tubo, produce un sonido muy agudo, que advierte la falta de agua en la caldera. 7.° Finalmente hay una abertura M por donde puede pasar un hombre para la limpia y reparacion de la caldera..

714. Diferentes son las disposiciones que se han dado á la máqui-

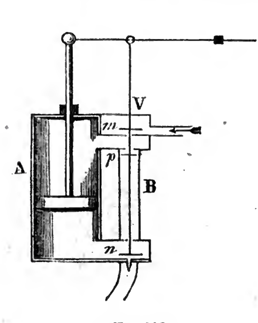


(Fig. 116).

na propiamente dicha, donde el vapor produce el movimiento. La máquina de *Newcomen* inventada en 1705 llamada *atmosférica*, (figura 116), porque la atmósfera es la que produce su efecto, se compone de un cilindro vertical AB, que lleva un émbolo suspendido en el extremo de una palanca MN de brazos iguales, llamado *balancin*, y

equilibrado con un peso algo mayor en el otro brazo. De la parte inferior del cilindro parten dos tubos P y Q con llaves que lo cierran, uno que comunica con el generador del vapor, y el otro con un vaso de agua fria D, que se llama *condensador*, porque está destinado á condensar los vapores. Penetrando el vapor en la parte inferior del émbolo, este queda igualmente oprimido por encima con el peso de la atmósfera y por debajo por el vapor, por lo que se levanta tirado por el contrapeso. Llegado el émbolo á la parte superior, se cierra el tubo P, que va á la caldera, y se abre el que comunica con el condensador, donde se condensa el vapor inmediatamente; por lo que desapareciendo el vapor que está en el cilindro, el émbolo baja empujado por el peso de la atmósfera. Este peso es igual al de un cilindro de agua que tiene por base la del émbolo, y por altura 10,33 metros, (240) por lo que suponiendo que el émbolo tenga un centímetro de base, el cilindro de agua pesaria 1033 centímetros cúbicos, ó sea 1033 gramos=1,033 kilógramos. Así pues el efecto útil ó sea el peso que podrá arrastrar el émbolo, podrá representarse por $1^k,033 \times b$ siendo b la base del émbolo expresada en centímetros. Como esta máquina solo produce su efecto al bajar el émbolo, y no al subir, se llama de *simple efecto*.

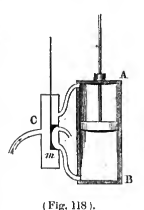
715. La máquina llamada de *Vatt* de simple efecto inventada en 1769, tiene al lado del cilindro A (figura 117) un tubo B por donde debe pasar el vapor que viene de la caldera. Este tubo comunica por medio de dos tubitos horizontales con la parte superior é inferior del cilindro. Una varilla V, á quien da movimiento el balancin lleva tres válvulas. La primera *m* abriéndose pone en comunicacion la caldera con la parte superior del émbolo, la mas baja *n* hace comunicar la parte inferior del émbolo con el condensador, y la intermedia *p* pone en comunicacion las dos partes del cilindro entre sí. Levantándose pues la varilla V abre las dos válvulas *m* y *n*, y cierra la intermedia *p*, por lo que el vapor de la caldera pasa á empujar el émbolo hácia abajo y el vapor contenido en la parte inferior pasa al condensador; pero cerrándose luego estas válvulas, y abriéndose al mismo tiempo la intermedia, el vapor que se habia introducido en la parte superior del cilindro, puede tambien extenderse á la inferior, y así el émbolo empujado igualmente por ambas partes sube por efecto del contrapeso C como en la máquina de Newcomen. El



(Fg. 117).

efecto útil de esta máquina se produce únicameute por la tensiou del vapor, la cual pudiéndose aumentar, como se quiera, permite de reducir las dimensiones del émbolo, y al mismo tiempo suprimir el *condensador,* dejando al aire libre el tubo, que con él comunicaba, en el cual caso el efecto depende de la diferencia de presiou del vapor y de la atmósfera. Cuando las máquinas funcionan bajo la presion de 2 ó mas atmósferas, se llamau de *alta presion.* En las máquinas de baja presion el *condensador* es absolutamente necesario, pero se puede suprimir, como se ha dicho en las de alta presion. Calentándose el agua del condensador á medida que en ella se condensan los vapores, conviene renovarla continuamente, á cuyo efecto se emplea una bomba movida tambien por el balancin, que al mismo tiempo sirve para quitar el aire introducido con los vapores, y que por esto toma el nombre de *bomba de aire.*

716. Eu las máquinas de *doble efecto* al lado del cilindro AB (figura 118) hay uua caja C, donde va el vapor desde la caldera. Desde esta caja parten tres tubos uno á cada extremidad del cilindro, y otro intermedio que va al coudensador ó simplemente al aire. En la caja hay un tirador *m* en forma de campana, que resbalando sobre los orificios de los tubos, pone sucesivamente en comunicacion el tubo del condensador con uno de los otros dos, y deja por lo tauto que el vapor se introduzca alternativamente eu la parte superior é inferior del cilindro, con lo cual el émbolo es empujado, ya en un sentido, ya en el opuesto.

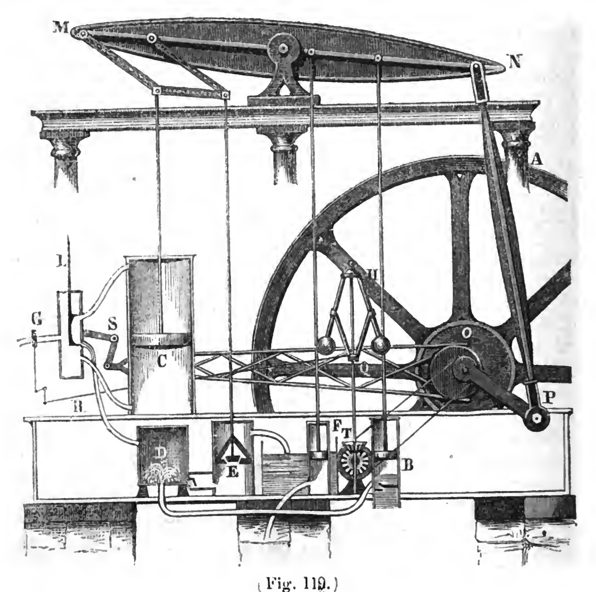


(Fig. 118).

717. Obrando el vapor continuamente con la misma fuerza sobre el émbolo, este tomaria un movimiento acelerado, que aumentando á cada instante, podria producir un choque peligroso al término de su curso. Para obviar este inconveniente se dispone de tal mauera el tirador, que cierre el tubo por donde se introduce el vapor, cuando el émbolo se halla á la mitad de su curso: de este modo la primera mitad del cilindro es corrida con movimiento acelerado, y la otra mitad con la velocidad adquirida por la accion del vapor ya introducido, el cual ocupando mayor capacidad á medida que el émbolo va adelaute, pierde en fuerza y así el choque es mucho menor. Con lo que se obtiene tambien una uotable economía de vapor, y por consiguiente de combustible.

718. Con estas nociones se pueden comprender bien todas las piezas de la máquina de Vatt de *doble efecto* (fig. 119). El vapor intro-

ducido en el cilindro C empuja el émbolo fijo en el brazo M de un balancin, al mismo tiempo que el otro brazo N fijo en el manubrio P de una rueda, la hace girar, y esta trasmite el movimiento á las piezas, que se deben mover por medio de correas. Un volante A fijo en el eje de la rueda hace que esta gire con regularidad. El tirador L es movido por un escéntrico O fijo en el eje de la rueda, que lo hace ir á delante



(Fig. 119.)

y atrás, por medio de una palanquita S. El agua llega al condensador D por medio de una bomba aspirante B, que la extrae del depósito. Otra bomba aspirante E hace pasar el agua del condensador, á otro vaso, desde donde por medio de una tercera bomba aspirante F es conducida á la caldera. Los émbolos de estas tres bombas reciben su movimiento fijando sus vástagos en los brazos del balancin. La cantidad de vapor que viene de la caldera está regularizada por medio de una llave G, que se cierra mas ó menos segun que la rueda toma mayor ó menor velocidad; lo que se obtiene por medio de una correa, que trasmite el movimiento á un tornillo sin fin T cuyo eje vertical termina en un triángulo H de lados móviles, que llevan

dos seferas gruesas de plomo, las cuales por efecto de la fuerza centrífuga que adquieren girando, se levantan mas ó menos, y hacen levantar tambien un anillo Q corredizo, unido á los lados del triángulo. En este anillo se fija una palanquita R cuya extremidad puede cerrar ó abrir mas ó menos la llave del tubo, que conduce el vapor. Así pues cuanto mayor es la velocidad de la rueda y del volante tanto mas se levantan las bolas y el anillo unido á ellas, y por consiguiente tanto mas se cierra la llave, y disminuye la fuerza del vapor.

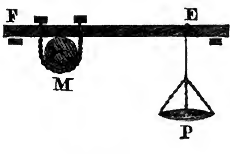
719. Llámanse *locomotoras* las máquinas de vapor destinadas á los ferro-carriles. La locomotora está sostenida por seis ruedas unidas por tres ejes, los dos de enmedio reciben el movimiento de la máquina y lo trasmiten á las otras cuatro. Por lo comun hay dos máquinas de vapor, que obran sobre el mismo eje, una para cada rueda, cuyos manubrios movidos por los ejes están dispuestos de modo, que el de una rueda forma ángulo recto con el de otra, á fin de que una rueda esté en su máximo de velocidad, cuando la otra está en su mínimo. Las máquinas de las locomotoras son siempre de alta presion, y así se suprime el *condensador*, como tambien el *balancin* articulando directamente la varilla del émbolo con la biella de la rueda. Finalmente el maquinista colocado delante de la caldera regulariza la marcha de la locomotora dando vuelta á la llave del tubo de conduccion del vapor, cuyo efecto se indica por medio de un índice fijo en la misma llave.

720. El movimiento de traslacion que toma la locomotora proviene del roce que las ruedas motrices ejercen sobre los *raïls* que suelen ser de hierro: si el roce disminuye, como cuando los *raïls* están mojados ó cubiertos de hielo, disminuye tambien el efecto de la traslacion: ahora en un tiempo seco este roce es próximamente $\frac{1}{7}$ del peso que las ruedas motrices tienen encima, y en un tiempo húmedo es solo de $\frac{1}{20}$. Así suponiendo que el peso que sostienen las ruedas sea de 4200 kilógramos, en el primer caso la adhesion producida por el roce será de 600 kilógramos, y en el segundo de 210 kilógramos. La mayor ó menor velocidad depende del número de vueltas que dan las ruedas en un tiempo determinado, y de su diámetro, pues por cada ida y vuelta del émbolo, la rueda da un vuelta entera. Así por ejemplo si las ruedas tienen un metro de diámetro, y dan 5 vueltas en un segundo, el camino corrido por la locomotora en este tiempo será $2\pi r.5=15,7$ metros, ó sea unos 56,5 kilómetros por hora.

721. Llámase *quilográmetro* la cantidad de trabajo, que se ejerce, para levantar un kilógramo á la altura de un metro en un segundo. En las máquinas de vapor suélese tomar por unidad de trabajo el *caballo de vapor*, que equivale á 75 *quilográmetros*. Así cuando se dice, que una maquina tiene la fuerza de 100 caballos de vapor, entiéndese, que es capaz de levantar de un modo continuo 7500 kilógra-

mos á la altura de un metro en cada segundo. La cantidad de trabajo de un caballo de vapor en un 1″ representa un producto cuyos factores son 75 kilógramos de peso y un metro de elevacion ó de espacio recorrido. Por consiguiente representando en general por p un peso cualquiera, por m el número de metros que deberá elevarse en un 1″, y por c el número de caballos que ejecutará este trabajo, se tendrá la ecuacion $75c=p\times m$, por medio de la cual, dadas dos de las tres cantidades se conocerá la tercera.

722. Por medio del aparato llamado *freno de Prony* (fig. 120), se puede medir la fuerza de una máquina de vapor. A este fin despues de haber interrumpido la comunicacion del eje M con las piezas á que trasmite el movimiento, se le aprieta con cadenas una barra de madera EF, de modo que no pueda dar mas vueltas que las que daba, cuando estaba unido con las piezas que antes movia. Por lo que el trabajo de la máquina será igual al roce que sufre el eje por el freno, ó sea $2\pi a$R, representando por a el radio del eje, y por R la fuerza del roce. Ahora suspendiendo en la extremidad E de la barra un peso P capaz de mantenerla en una posicion horizontal, por la teoría de los momentos de las fuerzas se tendrá a.R=A.P, siendo A la distancia del peso P al centro del eje. Este peso P se compone del peso suspendido en la barra, y del de la misma barra y de la cadena que la sugeta, referidos todos á un mismo punto de aplicacion. Multiplicando la ecuacion por 2π se tendrá $2\pi a$.R$=2\pi$A.P, expresion que representa el trabajo de la máquina, en dar una vuelta entera en un 1″, por lo que si da n vueltas por 1″ el trabaja será 2πA.P.n. Para reducir este valor á *caballos de vapor* se sustituirá este trabajo en el segundo miembro de la ecuacion $75.c=p.m$, y se tendrá $c=\frac{2\pi.A.P.n}{75}$. Supongamos que el trabajo 2π.A.P. sea igual á 500 kilógramos, y que el eje dé seis vueltas, se tendrá $c=\frac{500+6}{75}=40$ es decir la máquina tendrá la fuerza de 40 caballos de vapor.



(Fig. 120).

723. Se ha reconocido que en un camino bien nivelado, el esfuerzo necesario para mover un convoy es $\frac{1}{250}$ de su propio peso: así un esfuerzo de 600 kilógramos arrastrará un convoy de 150,000 kilógramos. Queriéndose ahora saber, que fuerza en caballos deberá ejercer una locomotora, para arrastrar este convoy á razon de 18 kilómetros por hora sobre un camino bien nivelado, se tendrá $\frac{150.000}{250}=600$ kilógramos; el espacio corrido en 1″ será $\frac{18000^{m}}{3600}=5$ metros. Sustitu-

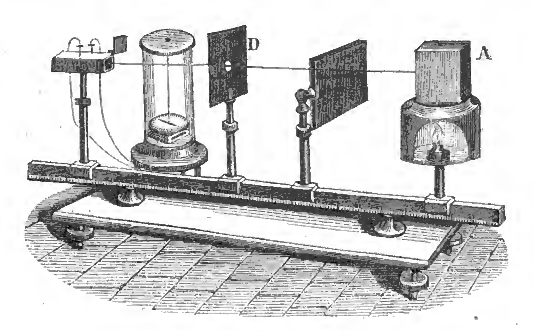
yendo estos valores en la ecuacion $75 \times c = p.m.$ resulta $c=40$. Este resultado supone que no haya curvas, ni desnivel en el camino, ni viento, ni cambio en el roce y resistencia del aire.

CAPÍTULO XII.

DE LA IRRADIACION DEL CALÓRICO, Y ENFRIAMIENTO DE LOS CUERPOS.

724. Puesto un termómetro á alguna distancia de un cuerpo caliente, se observa que se eleva su temperatura, de lo cual se deduce que recibe calor del cuerpo caliente. Este efecto es independiente del aire intermedio, porque se observa, tanto renovando el aire, como en el vacío: tiene lugar en línea recta porque cesa interponiendo una pantalla; y se produce con suma velocidad. Esta propagacion del calor se llama *irradiacion;* y el calor trasmitido, *calórico radiante.* Todos los cuerpos calientes ó frios irradian calor, cuando están en ambientes de una temperatura inferior á la suya; y aunque no se puede directamente demostrar que suceda lo mismo, cuando se hallan en ambientes de igual ó superior temperatura, parece no obstante muy probable, que así sucede tambien.

725. El poder emisivo del calor es diferente en los diferentes cuerpos. Para demostrarlo por la experiencia, se hace uso del termo-multiplicador (1075) conocido con el nombre de *aparato de Melloni*



(Fig. 121).

(fig. 121). El cuerpo radiante es un cubo de laton A, que tiene una de sus caras bien lisa, otra cubierta de negro de humo, otra de una capa de barniz, y la cuarta tiene sus aristas dispuestas de modo que se

puedan introducir planchitas de vidrio, ó de metal. El cubo se llena de agua, que se hace hervir por medio de una lampara de alcohol. A poca distancia se pone una pilita termoeléctrica B, y en medio un diafragma que lleva un agujero de un diámetro igual ó menor que él de la pila. Puestas las piezas á la altura de un mismo eje, se dirigen las diferentes caras del cubo hácia la pila, y cada una produce una diferente desviacion en la aguja del reómetro puesto en comunicacion de los polos de la pilita termoeléctrica. Por este medio se ve que el negro de humo tiene un poder emisivo mayor, que todos los demás cuerpos. Llamando pues 100 á este poder emisivo del negro de humo se ha hallado que él del papel es 98, él del vidrio es 90, él del mercurio 20, y él de los demás metales menor.

726. El poder emisivo depende tambien del estado de la superficie radiante. Aumenta disminuyendo la densidad de las capas superficiales. Además parece que en muchas sustancias el calor irradia desde puntos colocados debajo de la superficie, pues si una superficie metálica se cubre con un velo fino de barniz, crece su poder emisivo y una segunda capa lo aumenta tambien, y así adelante hasta que la capa tiene el espesor de $\frac{1}{40}$ de milímetro. Los metales y el negro de humo, mas ó menos sútiles, tienen siempre un mismo poder emisivo.

727. La intensidad del calor emitido disminuye, segun la inclinacion de la superficie que lo emite, siendo máxima en la direccion normal, y mas y mas pequeña á medida que aumenta la oblicuidad. De lo que se sigue, que una esfera irradia en una direccion cualquiera, como si fuese un círculo máximo de la misma esfera.

728. Irradiando pues un cuerpo el calor que tiene, por necesidad debe enfriarse, sino recibe de otro cuerpo igual cantidad á la que emite. Newton estableció que un cuerpo en tiempos iguales pierde una cantidad de calor, ó sufre una disminucion de temperatura proporcional al exceso de la que tiene, sobre la de los cuerpos que lo circundan. Parece que esta ley no se verifica sino en excesos de 12 á 15 grados. Llámese T el exceso inicial, y n la cantidad de calor que pierde por un grado en un minuto; segun la ley de Newton en un minuto perderá Tn por T grados: por lo que despues del primer minuto el exceso será $T-Tn=T(1-n)$. En el segundo minuto perderá $(T1-n)n$, y así el exceso despues de dos minutos será $T(1-n)-T(1-n)n=T(1-n)(1-n)=T(1-n)^2$. Así despues de tres minutos el exceso será $T(1-n)^3$, y despues de x minutos será $T(1-n)^x=t$; haciendo $1-n=\frac{1}{m}$, resulta $T\left(\frac{1}{m}\right)^x=t$. La cantidad m es diferente para los diferentes cuerpos (725), y se puede determinar observando T y t en un número determinado de minutos, porque despejando m se tendrá $L.m=\frac{LT-Lt}{x}$. Si conocido el valor de m se buscan los vapores de t correspondientes á un número cualquiera x de minutos, el resultado no concuerda con la experiencia, sino en el caso que se tomen para x y para T valores inmediatos á los que han servido para determinar el valor m. Luego la ley de Newton no es exacta, sino para cuando la diferencia de temperatura de los cuerpos es pequeña.

729. Por los experimentos de Dulong y Petit sobre los líquidos consta que su enfriamiento es independiente de su naturaleza, y de la forma y magnitud de los vasos que los contienen, y que solo depende del estado de la superficie que los cubre. Por lo que para observar la ley del enfriamiento de los cuerpos, bastará tomar un termómetro, y cubrir su depósito con un velo fino de una sustancia determinada. Así se han observado las dos leyes siguientes en el vacío. 1.ª La velocidad del enfriamiento de un cuerpo colocado en un exceso constante de temperatura crece en progresion geométrica, creciendo la temperatura del ambiente en progresion aritmética. 2.º En un ambiente de temperatura constante, creciendo los excesos de temperatura de un cuerpo en progresion aritmética, las velocidades del enfriamento crecen como los términos de una progresion geométrica disminuidos de una cantidad constante.

730. De aquí se sigue que un cuerpo expuesto á un calor de una intensidad constante, no podrá calentarse sino hasta un determinado límite: porque comenzando á calentarse, tambien pierde parte del calor recibido, y como esta pérdida crece con una ley mucho mas rápida, que aquella con que aumenta su temperatura sobre la de los cuerpos, que lo circundan, llega un punto, en que pierde tanto calor cuanto recibe en un tiempo dado, y entonces la temperatura de este cuerpo queda estacionaria.

731. *La intensidad del calor radiante decrece en razon directa del cuadrado de la distancia al cuerpo que lo emite.* Puesto que el calor radiante se esparce en forma esférica al rededor del cuerpo caliente, se sigue que el calor en un punto cualquiera se podrá considerar como que calienta la superficie esférica correspondiente á la distancia, que representa el radio de la misma esfera. Pero las superficies esféricas son proporcionales á los cuadrados de los radios, y cuanto mayor es la superficie tanto menor es el calor de cada una de sus partes, luego el calor decrecerá en razon de la mayor superficie calentada ó sea en razon del cuadrado de su radio, que es la distancia. Lo que puede confirmarse con el aparato de Meloni, (fig. 121), poniendo una de las caras del cubo á diferentes distancias de la pila termoeléctrica, y notando la diferente desviacion producida en la aguja del reómetro.

CAPÍTULO XIII.

DE LA TRASMISION DEL CALOR Á TRAVÉS DE LOS CUERPOS.

732. Al llegar el calórico radiante á un cuerpo, parte pasa á través de su masa, otra parte es reflejada en la superficie, y otra es absorbida por el cuerpo.

733. Llámanse cuerpos *diatérmicos* aquellos que dejan pasar el calor, y *atérmicos* los que lo interceptan. No todos los cuerpos son igualmente diatérmicos, lo que se demuestra colocando entre una fuente calorífica y la pilita en el aparato de Melloni, láminas sólidas del mismo espesor y pulidez ó bien líquidos ó gases encerrados entre dos laminitas de vidrio paralelas. Así se observa que la sal gema, que es el cuerpo mas diatérmico, deja pasar 0,923 del calor incidente. El agua puédese tomar como un cuerpo atérmico. Tambien se observa, que la trasmision no depende de la trasparencia de los cuerpos; pues el cuarzo ahumado apenas trasparente deja pasar mas calor, que el alumbre diáfano. Tampoco la mayor trasmision depende del mayor ó menor espesor de la lámina, pues se pierde menos calor incidente atravesando la segunda capa que la primera, y menos pasando la 3.ª que la 2.ª y así sucesivamente. La sal gema en todos espesores deja pasar la misma cantidad de calor. Finalmente un mismo cuerpo deja pasar diferente cantidad de calor, segun que este proviene de diferentes cuerpos calientes, lo que se observa poniendo en el aparato de Melloni el cubo con agua hirviendo, ó una lamparita ú otro cuerpo caliente, luminoso ú obscuro. Así el vidrio que deja pasar un tercio del calor incidente de una lámpara, no deja pasar nada del calor incidente de una fuente obscura. La sal gema es la sola sustancia que deja pasar siempre 0,923 del calor incidente.

734. Para explicar estos fenómenos se admite, que el rayo calorífico está compuesto de muchos rayos caloríficos elementales de diferente especie; que unos cuerpos son diatérmicos para una especie, y no para otra, de un modo análogo á lo que observamos con respecto á la luz, que muchos cuerpos no son diáfanos sino para cierto color; y así como por ejemplo un vidrio rojo no deja pasar sino el rayo luminoso rojo destruyendo los demás; así un cuerpo es diatérmico para una cierta especie de rayos caloríficos, y no para los demás. Estos cuerpos diatérmicos solamente para una clase de rayos, se llaman *termocroicos*. Así el vidrio es una sustancia termocroica. La sal gema es el único cuerpo conocido diatérmico para toda clase de rayos caloríficos y por este motivo deja siempre pasar la misma cantidad de calor incidente.

735. El rayo calorífico atravesando un cuerpo diatérmico se refracta, esto es, toma una nueva direccion, siguiendo en este fenómeno las mismas leyes, que el rayo luminoso, lo que puede observarse con un lente de vidrio expuesto á los rayos luminosos, por ejemplo del sol, que donde estos se concentran, produciéndose un foco vivísimo de luz, allí tambien se encuentra un calor capaz de fundir muchos metales, y encender un combustible. Como la sal gema es el único cuerpo perfectamente diatérmico, así para observarse el efecto con rayos caloríficos emitidos de fuentes poco intensas de calor conviene servirse de esta sustancia.

736. Si el rayo calorífico se recibe en un prisma de sal gema, se obtiene una difusion del rayo, en una direccion perpendicular á la arista del prisma, la cual difusion toma el nombre de *espectro calorífico*, porque es análogo al espectro luminoso, aunque de menor extension. Este fenómeno produciéndose por la diferente refrangibilidad de los rayos, que componen el haz calorífico, es otra prueba de la diferente especie de rayos, que forman este haz calorífico. Además si se examina el calor que existe en cada color del espectro luminoso se observa que el máximo de temperatura está en diferente punto, segun son diferentes las sustancias del prisma; lo que demuestra tambien, que estas sustancias no son diatérmicas, sino para cierta clase de rayos, es decir son sustancias termocroicas.

CAPÍTULO XIV.

DE LA ABSORCION DEL CALOR RADIANTE.

737. Llámase *poder absorbente* de los cuerpos, la propiedad que poseen de quedarse con parte del calor incidente, la cual sirve para elevar su temperatura. Todos los cuerpos gozan de esta propiedad, pues todos se calientan expuestos al sol, tomando una temperatura mayor, que la del aire. Así tambien todos se calientan, suspendiéndolos dentro de un ambiente vacío, cuyas paredes tengan una temperatura mayor; luego absorben el calor radiado por el recinto.

738. Los cuerpos gozan de esta propiedad en un grado muy diferente; lo que se puede observar con el aparato de Melloni. Para esto se disponen láminas de laton, que puedan adaptarse á la extremidad de la pila termoeléctrica; estas láminas se ennegrecen por la parte, que debe volverse hácia la pila, y por la otra parte se cubren con las sustancias, cuyos poderes absorbentes se quieren determinar. De este modo se observa, que el negro de humo es el cuerpo mas absorbente del calor. Parece que la sal gema no absorbe nada sensiblemente, pues trasmitiendo siempre 0,923 del calor incidente sobre su su-

perficie, cualquiera que sea su espesor, á lo menos hasta 30 ó 40 milímetros, se sigue que la cantidad 0,077 de calor que falta ha sido reflejada en su superficie, y no absorbida.

739. La cantidad de calor absorbida por un cuerpo depende de la naturaleza del manantial calorífico, que lo irradia. Así el carbonato de plomo absorbe 0,53 del calor que irradia una lámpara, y absorbe completamente todo el calor que irradia un cubo lleno de agua hirviendo. El negro de humo absorbe siempre la misma cantidad de calor, cualquiera que sea la fuente calorifica, lo que lo hace útil para los aparatos destinados á la medida de las irradiaciones caloríficas, que por esta razon se ennegrecen con dicha sustancia. Muchos cuerpos absorben mas calor en igualdad de circunstancias cuando el cuerpo que lo emite es oscuro que cuando es luminoso. Tales son entre otros el carbonato de plomo, la cola de pescado, la goma laca, el vidrio ordinario y la nieve que se derrite mas fácilmente cubriéndola, que expuesta libremente á los rayos del sol.

740. El poder absorbente de los cuerpos es igual á su poder emisivo; lo que se deduce del siguiente experimento debido á Dulong y Petit. Envuélvese con nieve un gran globo de vidrio cubierto interiormente con negro de humo, y se introduce en él un termómetro que marca por ej. 15°, en seguida se hace el vacío en el globo, poniéndolo en comunicacion con la máquina neumática, y se deja enfriar el termómetro, notando el tiempo que tarda en bajar de 10° á 5°. Luego se hace el experimento en sentido contrario, es decir, que estando el termómetro á cero, se mantienen las paredes del globo á una temperatura constante de 15°: vuelve á subir el termómetro por el calor que recibe, y se observa que emplea el mismo tiempo para subir de 5° á 10°; luego la cantidad de calor emitida en el primer experimento es igual á la cantidad absorbida en el segundo, y por consiguiente tambien lo es su poder emisivo y absorbente.

741. Un cuerpo absorbe en igualdad de circunstancias el máximo de calor, cuando el rayo incidente le es perpendicular, y á medida que aumenta la inclinacion del rayo disminuye tambien la cantidad de calor absorbida. Esta es una de las causas, porque el suelo se calienta mas á medio dia por los rayos del sol, que en otras horas. Por la misma razon la tierra se calienta mas en verano, que en invierno.

CAPÍTULO XV.

DE LA REFLEXION DEL CALOR.

742. No todo el calor que llega á un cuerpo penetra en él, pues una parte tal vez muy considerable es rechazada en la superficie. La reflexion del calor en una superficie lisa y plana está sujeta á las dos leyes siguientes: á saber, 1.ª que el ángulo formado por el rayo incidente y la perpendicular á la superficie, es igual al ángulo formado por la misma perpendicular y el rayo reflejado: 2.ª que los rayos incidente y reflejado están en el mismo plano, que dicha perpendicular. Por medio del aparato de Melloni se demuestran tambien las sobredichas leyes: puestas dos reglas bajo un ángulo cualquiera, se coloca en la extremidad de uno de sus lados la fuente calorífica, y en la extremidad del otro la pilita termoeléctrica, en el vértice se pone el reflector. Colocadas las piezas en las condiciones de las citadas leyes, se observa una fuerte desviacion en la aguja del reómetro, y muy poca en las demás posiciones.

743. En esta propiedad se funda el uso de los *reflectores ó reverberos parabólicos*, por medio de los cuales los rayos caloríficos paralelos se reunen en su foco, y si el cuerpo caliente está en el foco, los reflectores los envian en una direccion paralela. Llámanse *espejos ustorios* dos espejos parabólicos; en el foco del uno se coloca una fuente de calor, y en el foco del otro un termómetro, en el cual se observa el efecto. ¿Si en vez del cuerpo caliente se pone un trozo de hielo, se ve el termómetro bajar muchos grados, como si el hielo le enviase rayos frigoríficos; pero este fenómeno debe atribuirse á la irradiacion del termómetro, que siendo mas abundante que la del hielo, por necesidad causa una disminucion de calor, hasta ponerse en equilibrio de temperatura. Los reflectores esféricos producen un efecto semejante á los parabólicos: los rayos paralelos se concentran sensiblemente en el punto medio entre el reflector y su centro de curvatura.

744. Los cuerpos reflejan el calor en grado diferente, lo que se comprueba poniendo planchitas de diferentes cuerpos en la experiencia precedente del aparato de Melloni, y sirviéndose simplemente del calor que despide la mano puesta delante del diafragma agujereado. Así se observa que los metales bruñidos reflejan bien; el vidrio, aceites, barnices, maderas, etc. muy mal. La plata refleja mejor que ningun otro cuerpo, el agua y el negro de humo no reflejan nada sensiblemente: el carbonato de plomo ó cerusa, expuesto solamente al calor solar por mucho tiempo, refleja algo. Cubriendo la superficie reflejante con un velo sútil de metal ó de otro cuerpo atér-

mico la reflexion es la misma, que la del cuerpo sobrepuesto; pero si la capa es de una sustancia *diatérmica* entónces pasa parte del calor incidente, y se refleja en la superficie cubierta.

745. Además de la reflexion regular, los cuerpos difunden en todas direcciones parte del calor recibido. Esta reflexion irregular se llama *difusion calorífica*, la cual es enteramente distinta de la irradiacion del cuerpo reflejante, producida por el calor, que absorbe, y que lo calienta. Para demostrarlo se pone por cuerpo reflector en el aparato de Meloni un disco de madera compacta blanqueada por una parte con cerusa, y ennegrecida por la otra con negro de humo; entre la pila y la superficie reflejante se pone una lámina de vidrio que como se ha dicho intercepta los rayos caloríficos obscuros, cuales son los que irradia el cuerpo reflejante. Con todo se observa una desviacion de la aguja, que no puede atribuirse á la reflexion regular, por que ni el negro de humo, ni la cerusa la producen, y además se observa colocando la pila fuera de la direccion de la reflexion regular; ni tampoco puede atribuirse á la irradiacion de la lámina de vidrio interpuesta, porque ennegreciéndola por la parte anterior, aunque así se aumenta su poder emisivo no se produce con todo esto mayor efecto en la aguja.

746. La cantidad de calor reflejada perpendicularmente en las dos caras de una lámina diatérmica es poco mas ó menos una cantidad constante, é igual á $\frac{1}{13}$ del calor incidente. En efecto representando por 1 la cantidad de calor incidente sobre la sal gema, pasa á través de esta sustancia 0,923 (733), y como no absorbe nada sensiblemente, se sigue que el calor que falta ha sido reflejado. Ahora 0,077 es proximamente $\frac{1}{13}$ de 1. Un resultado análogo se obtiene con el vidrio y el cuarzo.

CAPÍTULO XVI.

DE LA CONDUCTIBILIDAD DEL CALOR.

747. Llámase *conductibilidad* del calor la facultad, que tienen los cuerpos de trasmitir el calor, que reciben en uno de sus puntos, á lo restante de su masa. El calor se propaga mucho menos facilmente por conductibilidad que por irradiacion, pues por conductibilidad corre pocos milímetros por segundo, y por irradiacion tiene la velocidad de la luz, que como se verá es de unos 68 mil leguas por segundo.

748. Todos los cuerpos sólidos conducen el calor, pero en muy diferente grado. Para observarlo se fijan cilindros de varias sustan–

cias, cubiertos con una capa de cera, en la pared vertical de un recipiente, que se mantiene á una temperatura constante, y se ve, que en unos la cera se derrite antes, que en otros, y por consiguiente unos son mejor conductores que otros. El oro, el platino y el cobre son óptimos conductores, y en general los metales conducen bien el calor; el vidrio y el mármol lo conducen muy mal, y peor aun el carbon, la tierra, las sustancias vejetales y animales, como lana, algodon, plumas, etc.

749. Los líquidos son malos conductores del calor; lo que se puede experimentar, sumergiendo un termómetro á pocas líneas de la superficie, é inflamando un poco de alcohol puesto encima. Pero los líquidos se calientan fácilmente poniendo el calor en la parte inferior; porque se establece en la masa líquida una corriente ascendiente, por efecto de las moléculas líquidas calentadas en el fondo, que se elevan por su mayor ligereza, y otra corriente descendiente producida por las moléculas frias que van á ocupar el lugar de las otras. Estas corrientes se observan muy bien, poniendo en el líquido polvos de maderas, que tengan poco mas ó menos la misma densidad del líquido.

750. El aire y los demás gases son muy malos conductores del calor, pero se diferencian de los líquidos, en que se calientan calentando cualquiera de los puntos del recipiente que los contiene, pues el calor aplicado á la parte superior ó á cualquiera punto del recipiente no calienta el gas por irradiacion, porque es diatérmico, pero calienta las paredes del recipiente y luego la capa aérea que está en contacto, y así se estableceu en todos los puntos corrientes, como en los líquidos, calentándose rápidamente toda la masa. Mas si se impide la irradiacion del foco calorífico, interponiendo un cuerpo muy poroso, como algodon ó plumas, etc., entónces el gas se calienta muy lentamente. Este experimento parece indicar que la poca conductibilidad de la lana, algodon, plumas, etc., es efecto del aire encerrado en sus poros, que no puede tomar movimiento alguno por la interposicion de estas sustancias.

751. Si se hace comunicar la extremidad de una barra con un manantial de calor, y á distancias iguales se practican pequeños hoyos, en donde poner termómetros sumergidos en mercurio, la experiencia da á conocer, que creciendo las distancias en progresion aritmética, decrece la temperatura en progresion geométrica, cuando el cuerpo es muy buen conductor, pero si no lo es, esta ley tampoco es exacta.

752. Muchos fenómenos se explican con la conductibilidad de los cuerpos. Tocando un metal, experimentamos una sensacion de frio, y no la experimentamos tocando una madera, que está á la misma temperatura, que el metal. Nos cubrimos con sustancias de lana, para defendernos ó del frio ó del calor. Cubrimos el hielo con lana y

paja, para defenderlo de los rayos del sol. Usamos de estufas metálicas para calentar una pieza. Se colocan dobles vidrieras, para conservar el calor de una sala. La tierra no se enfria tanto, cuando está cubierta de nieve, como cuando está sin ella. Las aves conservan su calor cubiertas de plumas, etc.

CAPÍTULO XVII.

DE VARIOS MANANTIALES DE CALOR.

753. Muchos son los manantiales de calor, pero todos pueden reducirse á tres clases, á saber, manantiales *mecánicos, físicos y químicos*. A los manantiales *mecánicos* pertenecen el roce, la percusion y la presion. A los *físicos* el calor solar, el terrestre, el que se desprende en la solidificacion de los líquidos (687), en la licuefaccion de los gases (690), en la imbibicion y absorcion (537), y en las corrientes eléctricas, de que se hablará en la electricidad (979). A los *químicos* pertenece el calor, que se desarrolla en la combustion, y en todas las acciones químicas, y en particular, el que se observa en los seres vivos, animales y vegetales.

754. Todo el mundo conoce el calor que se desarrolla, frotando un cuerpo contra otro, el cual es tanto mas intenso, cuanto la frotacion es mas fuerte, y el movimiento mas rápido. Así vemos 1.° Que los cubos de las ruedas llegan á inflamarse rozando contra el eje. 2.° Frotando dos planchas de hielo la una sobre la otra se derriten. 3.° Sacamos chispas frotando el eslabon con el pedernal. 4.° Frotando un tubo de vidrio con una cuerda de cáñamo se calienta en modo que llega á cortarse en redondo. 5.° Limando un cuerpo, lo calentamos hasta el punto de no poderlo tocar. 6.° Taladrando una masa de bronce dentro del agua, Rumford elevó la temperatura de 25 kilógramos de agua desde cero á 100°. 7.° Aguzando un manojo de alambres en una piedra de amolar, se produce un gran chorro contínuo de chispas. Muchísimos otros ejemplos se podrian citar á este propósito. El calor desarrollado en el roce se atribuye al movimiento vibratorio, que toman las moléculas de los cuerpos.

755. Otro manantial mecánico de color es la *percusion*. Martillando los metales sobre un yunque, producimos en ellos una elevacion extraordinaria de temperatura. El calor que en esta operacion se desarrolla debe atribuirse no solo á la aproximacion de las moléculas del cuerpo, sino tambien al movimiento vibratorio, que ellas adquieren, pues el plomo se calienta con la percusion, sin que aumente su densidad.

756. La *presion* es otro medio mecánico de desarrollo del calor.

Cuanto mas aumenta la densidad del cuerpo comprimiéndolo, tanto mas sube su temperatura. Así este fenómeno es apenas sensible en los líquidos; lo es mas en los sólidos, y es muy notable en los gases, que se dejan comprimir con facilidad suma; lo que se demuestra con el *eslabon neumático*, que es un tubo de vidrio de paredes gruesas, con un émbolo que lo cierra herméticamente, el cual lleva un pedacito de yesca. Apretando con rapidez el émbolo, el aire comprimido se calienta en términos de inflamar la yesca, lo que supone una temperatura á lo menos de 300°. Tambien este calor puede provenir del rápido movimiento de las moléculas del gas, al comprimirse.

757. El sol es el orígen mas intenso de calor. Algunos suponen que el sol es una masa inflamada, que experimenta inmensas erupciones; otros atribuyen este calor á corrientes eléctricas, que se producen en la masa solar.

758. El globo terrestre posee un calor propio independiente del calor, que recibe del sol, pues á una pequeña profundidad variable en los diferentes paises se halla una capa, cuya temperatura permanece constante todo el año, y pasada esta capa va siempre creciendo de un grado por cada 30 ó 40 metros de profundidad. Lo que facilmente se puede observar en las minas, y lo confirma el calor del agua en los pozos artesianos, como tambien en las aguas termales, y los volcanes. Este calor toma el nombre de *calor central*, y segun la opinion mas recibida de los físicos, y de los geólogos, depende de que la tierra en un principio se halló en estado líquido por efecto de una elevadísima temperatura, y que por irradiacion, habiendo disminuido esta temperatura, se solidificó su superficie, hasta formar una corteza sólida, cuyo espesor se cree que no pasa aun de unas 20 leguas, quedando en estado líquido toda la restante masa central. Y como la tierra en su generalidad es mal conductor del calórico, así es que su enfriamento se produce con extremada lentitud, de modo que segun Fourier el enfriamento del globo en un siglo no llega á $\frac{1}{57600}$ de grado centígrado.

759. Otra causa de calor es la *imbibicion de los líquidos* por los sólidos, y la *absorcion de los gases* por los sólidos y líquidos. Así derramando un líquido sobre un sólido muy dividido hay elevacion de temperatura, la cual puede llegar á muchos grados con las materias de orígen orgánico comó son la esponja, la harina, el almidon, etc. Igual efecto producen los sólidos muy divididos absorbiendo un gas. Así el platino en hilos muy finos se pone incandescente, echándolo en el aire detonante. El negro de platino y la esponja de platino al condensar hasta 745 volúmenes de hidrógeno desprenden tanto calor que se hacen luminosos.

760. Las acciones químicas son otro gran manantial de calor. Se

llama *combustion* toda combinacion química acompañada de calor y de luz. Ordinariamente las combustiones se producen mediante la combinacion del carbon y del hidrógeno de las maderas, aceite, alcohol, etc., con el oxígeno del aire, aunque tambien puede tener lugar en la combinacion del cloro, azufre y otros. La *llama* con que arden muchos combustibles, no es otra cosa que un gas ó un vapor, que ha adquirido una temperatura elevada por efecto de la combustion. Su poder iluminante depende de los productos de la combustion ; si estos son gaseosos, como en las llamas de hidrógeno y de alcohol, la llama es pálida; pero si el carbon sufre una combustion incompleta entonces poniéndose incandescente el exceso de carbon, la llama aumenta de resplandor. Así una llama adquiere brillo colocando en ella hilos de platino ó de amianto que no se consumen.

761. Observando con atencion la llama de una bujía ó de otro cuerpo, se distinguen en ella cuatro partes, la inferior en forma de lúnula es azulada, en medio junto á la mecha hay un pequeño espacio oscuro ocupado por los vapores, al rededor de este espacio está la parte mas brillante de la llama, la cual está rodeada de otra capa luminosa, cuyo mayor espesor corresponde á la punta de la llama, donde el calor es mas intenso, por la completa combustion del gas. Si se corta el cono luminoso con un tejido metálico algo tupido, el gas se enfria hasta el punto de atravesar las mallas sin arder, pero se puede inflamarlo nuevamente. A esta propiedad se debe la construccion de la lámpara de seguridad inventada por Davy.

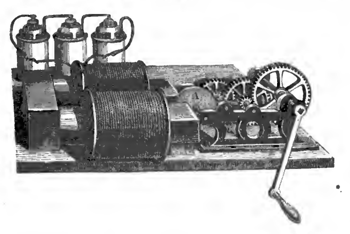
762. Tomando por unidad la *caloria* é sea el calor necesario para elevar de un grado la temperatura de un kilógramo de agua, se ha hallado que un kilógramo de las siguientes sustancias produce el número de calorias, que expresa la tabla siguiente.

Hidrógeno.	34600	Ulla.	7600
Hidróg. protocarbonado.	13205	Carbon puro.	7295
Hidrógeno bicarbonado.	12032	Alcohol de 42° de Beaumé	6855
Esencia de trementina.	10836	Madera seca.	3652
Aceite de olivo. . . .	9862	Azufre.	2601
Eter sulfúrico. . . .	9430	Oxido de carbono. . .	2488

763. En los séres vivos, animales y vejetales, se observa una temperatura, que les es propia, y por esto diferente de la del ambiente, que los rodea. Los animales bajo este punto de vista se dividen en dos clases, la una comprende los que se llaman de *sangre caliente* como los mamíferos y las aves, cuya temperatura permanece casi constante en todas las estaciones, y en todos los climas. La temperatura media del hombre en el estado normal es precisamente de 36°,77 ; en muchas aves pasa de 42°. A la otra clase pertenecen los que se dicen

de *sangre fria*, como los reptiles y los peces, cuya temperatura varia con la del ambiente, siéndole casi igual, ó poco superior. La causa de este calor se atribuye á la respiracion, por medio de la cual el oxígegeno del aire aspirado por el animal, penetrando en los pulmones por un efecto de *endosmosis*, y mezclado con la sangre va por las arterias á los diferentes órganos, combinándose entre tanto con el exceso de carbon, y produciéndose así el ácido carbónico, en cuya operacion se desarrolla el calor propio de cada órgano ó de la mayor parte de ellos. El ácido carbónico mezclado con la sangre llega otra vez á los pulmones, de donde es espelido por medio de la respiracion.

764. La produccion del calor por las acciones mecánicas ha dado orígen á una nueva teoría, que se ha denominado *teoría dinámica del calor*, segun la cual el movimiento y el calor son simplemente dos formas distintas de una misma causa, que se presenta bajo el uno ó el otro efecto, y pueden trasformarse el uno en el otro, segun las circunstancias; pues así como el roce, la percusion, la presion, etc. desarrollan calor como se ha expuesto en los números precedentes, así en las máquinas de vapor, parte del calor, que entra en la máquina dessparece convirtiéndose en efecto mecánico. Muy notable sobre este particular es la experiencia, que recientemente ha hecho M. Foucault con el aparato representado en la figura 122. Por medio de un manubrio



(Fig. 122.)

y una combinacion de ruedas dentadas imprimiendo una velocidad extraordinaria á un disco de cobre A metido en parte entre las ramas de un electro-iman muy poderoso, si este no está en actividad, el disco abandonado á si mismo continua girando por mucho tiempo por efecto de la velocidad adquirida; pero al activar el electro-iman con una pila de Bunsen, el disco se para casi instantáneamente, oponiendo una fuerte resistencia, si se quiere continuar moviéndolo; y si á pesar de esta resistencia se sigue dando vueltas, se observa que se eleva en breve tiempo la temperatura del disco de muchos grados, trasformándose de este modo en calor la fuerza que se gasta. M. Joule ha dado el nombre de *equivalente mecánico del calor* á la cantidad de trabajo producida por la unidad de calor ó sea por una *caloria*, ó lo que es lo mismo á la cantidad de trabajo mecá-

nico que puede dar origen á una caloria. Segun los experimentos de este físico, el equivalente mecánico del calor es de 424 kilográmetros, es decir que una caloria desarrolla una fuerza motriz capaz de elevar un peso de 424 kilógramos á la altura de un metro en un segundo de tiempo. Otros físicos han encontrado números poco diferentes del susodicho.

CAPÍTULO XVIII.

DE VARIOS MEDIOS DE CALEFACCION.

765. La *calefaccion* es el arte que tiene por objeto utilizar los diferentes manantiales de calor que nos ofrece la naturaleza, para lo cual se han inventado muchos aparatos mas ó menos perfectos llamados *caloríferos*.

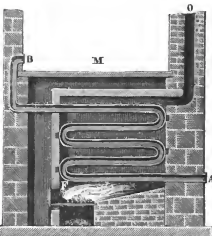
766. El calorífero mas antiguo es la *chimenea*, que consiste en un hogar abierto arrimado á una pared, que tiene encima un tubo, que da paso á los productos de la combustion de la madera, carbon, ulla, etc. Las chimeneas aunque son los caloríferos mas imperfectos y dispendiosos, porque utilizan muy poca cantidad del calor desarrollado en la combustion, con todo son de un uso muy agradable y sano, porque renuevan de contínuo el aire de las habitaciones.

767. En las chimeneas se establece una corriente ascendiente, que se llama *tirado de la chimenea* por ser los productos gaseosos de la combustion, que llenan el tubo, mas ligeros que el aire de las habitaciones. La bondad de una chimenea consiste en que tire bien, para lo cual se necesita, que el tubo sea bastante alto, para que haya mayor diferencia entre el peso de las materias gaseosas y él del aire, de que depende la fuerza de la corriente. Además no debe ser demasiado ancho, para que no se introduzca por arriba el viento, y empuje el humo hácia abajo; y así conviene que el tubo termine en forma cónica algo mas estrecho por arriba, para que el humo salga con mayor fuerza. Finalmente el aire exterior debe penetrar en la habitacion con toda la rapidez que exija el hogar, de otra suerte ó el fuego se apaga, ó entra el aire por el tubo, y el cuarto se llena de humo.

768. Las *estufas* son unos caloriferos metálicos ó de loza colocados en medio de la sala, que debe calentar, irradiando el calor en todas direcciones. Por la parte inferior entra el aire y los productos de la combustion salen por la superior por medio de tubos. Las estufas aunque son mas económicas que las chimeneas, porque puede utilizarse casi enteramente el calor desarrollado, no son tan saludables, porque con ellas no se renueva el aire de las habitaciones, á que se aplican. Además suelen despedir un olor desagradable y perjudicial.

769. Muchas veces se produce la calefaccion por medio del aire, que calentado en la parte inferior de un edificio, en virtud de su me-

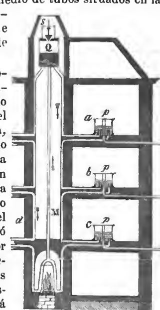
nor densidad sube hasta los pisos superiores por medio de conductos situados en las paredes. Así en la (fig. 123) el aire entra por el orificio inferior A, se calienta con la lumbre F, y en la habitacion superior M sale por el orificio B, llamado *boca de calor*, la cual debe colocarse lo mas bajo posible, á fin que se caliente todo el aire de la sala. Los productos de la combustion salen por el conducto O, como en las chimeneas.



(Fig. 123.)

770. Si la calefaccion se quiere producir por medio del vapor, sobre el fogon F se coloca una caldera análoga al generador del vapor, el cual se hace circular por medio de tubos situados en las piezas que se trata de calentar. Condensándose el vapor en estos tubos, les cede el calor y estos lo comunican al aire de la habitacion, como las estufas.

771. Mas ingeniosa y menos peligrosa es la calefaccion de los edificios inventada por *Bonnemain* á fines del siglo pasado, por medio de la circulacion del agua, que calentándose en una caldera, sube por una serie de tubos, volviendo por otros á la misma caldera, á medida que se enfria. En el piso inferior de un edificio (fig. 124), se coloca una caldera en forma de campana, y encima un tubo M, que va á un depósito Q situado en el techo del edificio. Una válvula S mas ó menos cargada limita la tension del vapor en el aparato. De la parte inferior del depósito Q salen tubos, que terminan en las piezas *a*, *b*, *c*, *d*, etc., y desde estas mismas piezas parten otros tubos que van á parar á la parte inferior de la caldera.



(Fig. 124.)

Llena pues esta y los tubos de agua, y aplicada la lumbre debajo de

la campana, se produce una corriente ascendiente al depósito Q, y al mismo tiempo se establecen en los tubos otras corrientes de agua no tan caliente hácia la caldera. El agua durante su curso cede su calor á los tubos, y estos al aire de las habitaciones como en las estufas. Las piezas *a*, *b*, *c*, etc., están atravesadas por un tubo P, por medio del cual se introduce el aire exterior para renovar el de la habitacion. Este procedimiento de calefaccion produce una temperatura sensiblemente constante por mucho tiempo, y así tiene grande aplicacion.

LIBRO OCTAVO.

ÓPTICA.

CAPITULO PRMERO.

HIPÓTESIS SOBRE LA NATURALEZA DE LA LUZ.

772. *Optica* en general se llama aquel ramo de las ciencias físicas, que tiene por objeto el estudio de las propiedades de la luz. Se da el nombre de *Catóptrica* al estudio de la luz reflejada, y de *Dióptrica* al de la luz refractada.

773. Llamamos *luz* á aquel agente, que produce en nosotros el fenómeno de la *vision*. Este agente segun Newton consiste en unas moléculas de suyo luminosas, sumamente pequeñas é imponderables, emitidas en todas direcciones por los cuerpos luminosos, las cuales penetrando en el ojo, por su reaccion sobre la retina, determinan la sensacion que llamamos vision. A esta hipótesis se le dió el nombre de *emision*. Segun la otra hipótesis generalmente admitida despues de los trabajos de Fresnel, la luz consiste en unos movimientos rápidos vibratorios de las moléculas de los cuerpos ponderables, los cuales se comunican á un fluido eminentemente sutil y elástico, llamado *eter*, contenido entre las mismas moléculas de todos los cuerpos y esparcido en todo el universo, por cuyo medio esos movimientos vibratorios se propagan en ondas esféricas, como el sonido en el aire. La causa de estas vibraciones de las moléculas de los cuerpos luminosos, se atribuye al calor suficientemente intenso, pues todos los cuerpos por la simple elevacion de temperatura llegan á hacerse luminosos, pasando la luz que emiten por todos los grados de intensidad, á medida que aumenta su temperatura.

774. Los cuerpos con relacion á la luz se dividen en *diáfanos*, *traslucientes* y *opacos*. Los primeros son los que dejan pasar la luz, de modo que se distinguen los objetos á través de ellos, como el cristal pulimentado; *traslucientes* los que permiten pasar la luz, pero de modo que á través de ellos no se pueden distinguir los objetos; como el vidrio deslustrado y el papel untado con aceite; finalmente *opacos*

son los que interceptan completamente la luz, como los metales; no obstante aun los que pasan por mas opacos, dejan pasar algo de luz, cuando se reducen á láminas muy finas. Tambien damos el nombre de *opacos* á los cuerpos que no son visibles por luz propia.

775. Se llama *rayo luminoso* la línea que sigue la luz propagándose; y *haz luminoso* un conjunto de rayos luminosos emitidos de un mismo punto. Si los rayos de que se compone, son paralelos, el haz se dice *paralelo; divergente,* si sus rayos se separan á manera de cono; y *convergente,* cuando sus rayos concurren hácia un mismo punto. Se da el nombre de *medio* al espacio lleno ó vacío, por donde se propaga el rayo luminoso; y se dice que un medio es *homogéneo* cuando todas sus partes tienen la misma densidad y composicion química.

CAPÍTULO II.

DE ALGUNAS PROPIEDADES DEL RAYO LUMINOSO.

776. En todo *medio homogéneo* la luz se propaga en línea recta y en todas direcciones lo que se demuestra por medio de tres planos agujereados, cuyos agujeros colocados en línea recta permiten el paso de la luz colocada mas allá del tercer plano, pero apartando algo uno de ellos, ya se impide su paso. Así tambien la luz que penetra en un cuarto oscuro por un agujero estrecho traza un surco luminoso rectilíneo que se hace visible por medio del polvillo, que constantemente está suspendido en el aire.

777. Así pues interponiendo un cuerpo á los rayos de luz emitidos desde un punto, se produce lo que se llama *sombra*, cuya magnitud queda determinada por la tangente tirada desde el punto luminoso al rededor del cuerpo interpuesto. Cuando el objeto luminoso tiene alguna extension, como todos sus puntos se constituyen otros tantos centros luminosos, detrás del cuerpo opaco, que intercepta la luz, además de la sombra, se produce una *penumbra* ó sea un espacio iluminado por una parte mas ó menos considerable del objeto luminoso, el cual se determina tirando dos tangentes al rededor del cuerpo interpuesto desde los dos extremos del objeto luminoso.

778. Cuando la luz de un objeto penetra por un agujero pequeño en un cuarto oscuro, se forma en una pantalla, donde se reciben los rayos luminosos, una imágen invertida del objeto, porque los rayos emitidos de los diferentes puntos del objeto luminoso en línea recta, por necesidad se cruzan en su paso por el agujero, pintando su imágen en la direccion del mismo rayo. Por esta misma razon esta imágen es tanto mayor, cuanto mas léjos del agujero se reciben los rayos luminosos. Por la misma razon la imágen es independiente de la fi-

gura del agujero, siendo este pequeño, porque si bien los haces divergentes emitidos por cada punto del objeto luminoso tienden á formar la figura del agujero, todas estas figuras se van sobreponiendo con tal continuidad, que en su totalidad no queda mas que la figura del objeto luminoso.

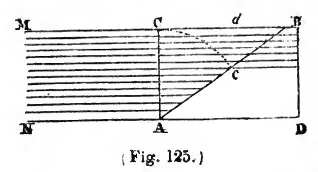
779. La velocidad con que la luz se propaga es sumamente grande. Para determinarla Roemer astrónomo dinamarqués fué el primero que se sirvió de los eclipses de los satélites de Júpiter. El satélite mas próximo emplea en recorrer su órbita 42 horas 28′36″; por lo que observando la immersion ó emersion de este satélite de la sombra, que le proyecta el planeta, cuando la tierra está próximamente en conjuncion con el sol y el planeta, y calculando el tiempo que debe emplear el satélite en hacer por ej. 100 immersiones, en cuyo tiempo la tierra corre la mitad de su órbita, se observa un retardo de 16′36″ del tiempo calculado: es evidente que la luz del sol reflejada por el satélite y recibida en la tierra debe correr en un caso el diámetro de la órbita terrestre, y no en el otro, luego la luz necesita 16′36″ para correr este diámetro, que representa próximamente el doble de la distancia del sol á la tierra calculada en 34 millones de leguas de 25 al grado, lo que da una velocidad de 68,000 leguas por segundo.

780. De aquí se sigue que jamás vemos ningun astro en su verdadero lugar, porque girando la tierra sobre su eje, cuando llega á nosotros un rayo de luz, el astro que lo despidió no se halla en el lugar que antes, habiendo girado la tierra en el tiempo que el rayo luminoso empleó en correr esta distancia; y así aun vemos el sol 8′ despues que realmente se ocultó bajo el horizonte. Esto es lo que constituye el fenómeno *llamado aberracion de la luz.* Además las estrellas mas cercanas á la tierra estando mas de 200,000 veces mas distante de ella, de lo que lo está el sol, su luz para llegar á nosotros necesita mas de 3 años de tiempo. Pero las estrellas que apenas son visibles con el teloscopio están á una distancia tan grande, que su luz necesita miles de años para llegar á la tierra.

781. Propagándose la luz en forma esférica, su intensidad estará en razon inversa de las superficies esféricas que ilumina, pero estas están en razon directa de los cuadrados de sus radios, luego la intensidad de la luz decrece en razon del cuadrado de estos radios ó sea de las distancias del punto luminoso. Así se observa, que se iluminan igualmente dos superficies con dos luces puestas la una á doble distancia de la otra, si la mas cercana es por ej. una bujía, y la mas léjos consta de cuatro.

782. Atravesando la luz un medio homogéneo de una cierta densidad, su intensidad decrece en una serie geométrica. Concíbase el medio dividido en capas de igual espesor, y supongamos que en cada una se haga una pérdida $\frac{1}{n}$ de la luz, que va á

pasar por ella: la intensidad de la luz que habrá pasado la primera capa será $1-\frac{1}{n}=\frac{n-1}{n}$, en la segunda disminuirá $\frac{1}{n}$ de $\frac{n-1}{n}$, ó sea $\frac{n-1}{n^2}$, y así la intensidad despues de la segunda capa será $\frac{n-1}{n}-\frac{n-1}{n^2}=\frac{n^2-2n+1}{n^2}=\left(\frac{n-1}{n}\right)^2$; al atravesar la tercera capa perderá $\frac{1}{n}$ de $\left(\frac{n-1}{n}\right)^2$ ó sea $\frac{(n-1)^2}{n^3}$, y asi la intensidad despues de la tercera capa será $\left(\frac{n-1}{n}\right)^2-\frac{(n-1)^2}{n^3}=\frac{n^3-3n^2+3n-1}{n^3}=\left(\frac{n-1}{n}\right)^3$, y así sucesivamente.

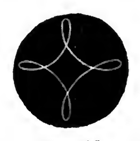


(Fig. 125.)

783. La intensidad de la luz, que ilumina una superficie oblícuamente, es proporcional al seno del ángulo que forman los rayos luminosos con la misma superficie (fig. 125). Sea S la cantidad de luz que ilumina la superficie oblicua AB, i la intensidad de luz sobre cada unidad de la misma superficie, se tendrá $i=\frac{S}{AB}$; ahora tirando la perpendicular BD á la direccion del rayo luminoso, será $AB=\frac{BD}{\text{sen}.a}$ representando por a el ángulo de inclinacion, de donde $i=\frac{S.\text{sen}.a}{BD}$; siendo pues S y BD cantidades constantes, para otra oblicuidad a', se tendrá $i=\frac{S.\text{sen}.a'}{BD}$; por lo que $i : i' :: \text{sen}.a : \text{sen}.a'$. Claro está, que una superficie AC en la posicion perpendicular al haz MNAC quedará mas iluminada que en otra cualquiera posicion, por ej. Ac, en la que la porcion de rayos comprendidos entre *cd* no puede producir su efecto.

784. Se llaman *fotómetros* unos aparatos destinados á medir la intensidad relativa de dos focos de luz. El mas sencillo es una varilla de madera colocada delante de un plano blanco, que se ilumina con las dos luces cuya intensidad se quiere comparar. La varilla proyectará dos sombras en el plano que serán iluminadas recíprocamente por las dos luces, cuyo efectos serán iguales, si son de la misma intensidad y á igual distancia; pero si para que estos efectos sean iguales es necesario colocar una de las dos luces á doble distancia que la otra, en tal caso la mas distante tendrá una intensidad cuatro veces mayor.

785. El *fotómetro de Wheatstone* muy usado en la industria consiste en una esferita de acero, bruñida, clavada en el borde de un disco de corcho, que por medio de un piñoncito se hace girar al rededor de una rueda dentada. Girando la esferita con rapidez entre dos luces, su imágen vista en ella produce la sensacion de dos curvas dispuestas como se vé en la fig. 126, las cuales se pueden obtener de igual intensidad, acercando el instrumento á una ó á otra luz: midiendo entonces la distancia del fotómetro á las luces, su intensidad será proporcional al cuadrado de estas distancias.


(Fig. 126.)

CAPÍTULO III.

DE LA REFLEXION DE LA LUZ.

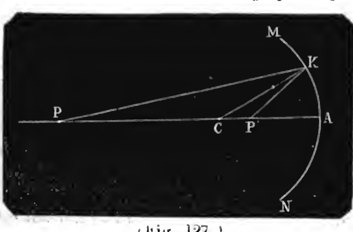
786. Cayendo un rayo de luz sobre un cuerpo bruñido, se refleja parte de la luz incidente, segun la naturaleza de los cuerpos, la pulidez de su superficie, y el medio en que está colocado. En general los metales son buenos reflectores de la luz. El vidrio plateado es el mejor reflector que se conoce, de modo que bajo la incidencia de 45° refleja 0,91 de la luz incidente, el vidrio amalgamado refleja solo 0,765. Se construyen en la actualidad reflectores de vidrio platinados, que se prefieren á los plateados, porque resisten mucho mejor á los agentes atmosféricos destructores. En cuanto á la pulidez de la superficie, se observa que la reflexion aumenta, á medida que ella es mas bruñida y compacta. Este estado de la superficie da orígen á dos clases de reflexion, la una llamada *regular*, por medio de la cual se distingue la imágen del objeto luminoso y la otra *irregular* ó *difusa* que nos hace ver el cuerpo reflejante, pero no el objeto luminoso. Finalmente metido un espejo dentro de un liquido diafano, disminuye notablemente la intensidad de la imágen de un cuerpo vista en él.

787. La reflexion regular está sujeta á las dos leyes siguientes: 1.ª *El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexion*. 2.ª *Ambos ángulos se hallan en un mismo plano*. Para demostrar estas leyes se dirige sobre una superficie plana y horizontal, formada por ej. por el mercurio, un anteojito que puede girar al rededor del centro de un círculo vertical graduado, de modo que se observe por reflexion un objeto lejano, luego se dirige el anteojo directamente al objeto; los ángulos que en ambos casos hace el eje del anteojo con la horizontal se hallan iguales. Tambien se demuestra por medio de un círculo vertical graduado de cuyo centro parten dos reglas móviles, que llevan una planchita agujereada cada una. Puesto en el centro del círculo un espejito metálico bien perpendicular á su plano, se mueve una de las dos reglas hasta ver por el agujerito en el espejo una luz colocada dentro del agujerito de la otra regla, y se halla que el rayo incidente y reflejado forman ángulos iguales con la perpendicular levantada sobre el espejo, y como las piezas descritas se hallan en un mismo plano, queda tambien probada la segunda ley.

788. La reflexion de la luz se explica fácilmente en cualquiera de los dos sistemas; pues en el sistema de las emanaciones siendo la materia luminosa perfectamente elástica, debe reflejarse segun las leyes de los cuerpos perfectamente elásticos (215): En la teoría de las vibraciones, las ondas luminosas del eter retroceden delante de los obstáculos, como lo hacen las ondas producidas en el aire, y en los demás flúidos elásticos (390).

789. En las dos leyes citadas estriba la teoría de los espejos. Se llaman *espejos* unos cuerpos de superficie lisa y pulimentada, que hacen ver por reflexion los objetos, que se les presentan. El lugar donde estos se ven es su *imágen*. Los espejos pueden ser *planos* ó *curvos*, y estos se dividen en *cóncavos*, *convexos*, *esféricos*, *parabólicos*, *cilíndricos*, *cónicos*, etc. La imágen se dice *real* cuando está formada por los mismos rayos reflejados, y *virtual* cuando lo está por las prolongaciones de los mismos rayos. En los espejos esféricos se llama *centro de curvatura* el centro geométrico de la esfera, á que pertenece, y *centro de figura* el punto medio del mismo espejo. Se dice *eje principal* la recta que pasa por ambos centros, y *eje secundario* la recta que, pasando por el centro de curvatura, no pasa por el centro de figura. El ángulo que forman dos radios tirados á los bordes del espejo en una seccion, que pase por el eje principal, la cual seccion se dice *principal* ó *meridiana*, toma el nombre de *abertura del espejo*.

790. Sea MN un espejo cóncavo esférico (fig. 127), y P un punto luminoso colocado sobre el eje principal, que envia un rayo PK al punto K del espejo poco separado del punto A, tirado el radio CK, que representará la perpendicular, se tendrán los dos ángulos en K iguales (787), por lo que en el triángulo PKP′ se tendrá $\frac{CP}{CP'}=\frac{PK}{P'K}$ pero siendo la curva AK de muy pocos grados, la recta PK será sensiblemente igual á PA, y P′K tambien igual á P′A, luego será $\frac{CP}{CP'}=\frac{PA}{P'A}$; llamando d la distancia PA del punto luminoso al espejo, y d' la distancia P′A del espejo al punto del eje, que corta al rayo reflejado y $2f$ al radio de curvatura AC, se tendrá $\frac{d-2f}{2f-d'}=\frac{d}{d'}$; de donde $d'f+df=dd'$, dividiendo todos los términos por $dd'f$, será $\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}=\frac{1}{f}$ (A). Esta fórmula hace conocer que aumentando d, disminuye d', y al revés; despejando d', se tendrá $d'=\frac{df}{d-f}$ (B).

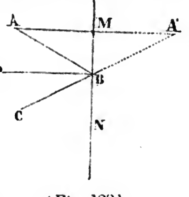


(Fig. 127.)

791. En estos espejos 1.° sea $d=\infty$, resulta $d'=f=\frac{AC}{2}$. Lo que indica que los rayos venidos paralelamente al espejo, ó sea de una distancia sumamente grande, despues de reflejados cortan al eje principal á una distancia igual á la mitad del radio de curvatura. Este punto se llama *foco principal*. 2.° Sea $d=2f=AC$, resulta $d'=2f=AC$; esto es, si el objeto luminoso se halla en el centro de curvatura, en aquel mismo punto se pinta la imágen. 3.° Si $d=f$, se tiene $d'=\infty$; esto es, que puesto el punto luminoso en el foco principal, su imágen se pinta á una distancia infinita, ó sea los rayos reflejados son paralelos. 4.° Si $d<f$, $d-f$ será negativo, y por consiguiente tambien lo será el quebrado $\frac{df}{d-f}$, lo que indica que la imágen se formará detrás del espejo, esto es, por las prolongaciones de los rayos reflejados. Por tanto la imágen será real, si el objeto se halla á una distancia del espejo mayor que la mitad del radio de curvatura; y será virtual, si se coloca á una distancia menor que la mitad del mismo radio.

792. En los espejos convexos el radio de curvatura estando en la parte opuesta del punto luminoso, será de signo contrario, por lo que en las fórmulas (A) y (B) en vez de f sustituyendo $-f$ se tendrá $\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}=-\frac{1}{f}$, y $d'=-\frac{df}{d+f}$. Por lo que si $d=\infty$, será $d'=-f$. En general el valor de d' será siempre negativo.

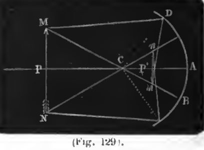
793. Si en cualquiera de las fórmulas precedentes el radio de curvatura se supone infinito, se tendrá $d'=-d$, esto es, la imágen del punto luminoso se pintará detrás del espejo, y á igual distancia del objeto, lo que se verifica en los espejos planos. En efecto (fig. 128) el rayo AB emitido del punto luminoso A, despues de su reflexion en el espejo MN, sigue la direccion BC, formando los dos ángulos ABP y PBC iguales (787), por lo que el ojo colocado en C verá el punto A en la direccion de BC; bájese la perpendicular AM y prolónguense las dos rectas AM y CB hasta su encuentro en A′ los dos triángulos rectángulos AMB y A′MB por tener el lado MB comun, y los ángulos ABM y A′BM iguales, resultan iguales, luego AM=A′M.



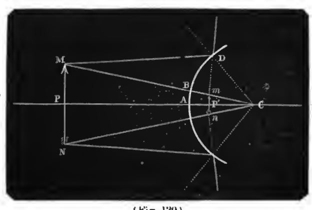
(Fig. 128).

794. Lo que se ha dicho de un punto luminoso, colocado sobre el eje principal, tiene tambien lugar para un punto luminoso colocado sobre el eje secundario con relacion á este eje, pudiéndose hacer una construccion semejante á la que ha servido para la determinacion de las fórmulas precedentes. Y como de los diferentes puntos de un objeto colocado delante un espejo, pueden tirarse otros tantos ejes se-

cundarios, será fácil determinar la posicion de la imágen. Sea por ejemplo un objeto MN (fig. 129, 130), colocado delante de un espejo cóncavo ó convexo; desde el extremo M tírese el eje secundario MB, luego otro rayo incidente cualquiera MD, uniendo el punto D con el centro de curvatura, se tendrá el ángulo de incidencia, se formará en el mismo punto D, otro ángulo igual, que dará el rayo reflejado, el cual, ó bien su prolongacion, cortará al eje secundario en un punto m, que será la imágen del punto M; haciendo la misma construccion para el punto N se tendrá la posicion



(Fig. 129).



(Fig. 130).

mn de los dos extremos de la imágen, y por consiguiente tambien de los demás puntos intermedios.

795. Para determinar la magnitud de la imágen (fig. 129), los dos triángulos MCN y mnc siendo semejantes dan $\frac{MN}{mn}=\frac{PC}{P'C}=\frac{PA-CA}{CA-P'A}$; y expresando estos valores con las mismas letras que en las fórmulas precedentes se tendrá $\frac{MN}{mn}=\frac{d-2f}{2f-d'}=\frac{d-2f}{2f-\frac{df}{d-f}}$ (792) $=\frac{d-2f}{\frac{2df-2f^2-df}{d-f}}=\frac{(d-2f)(d-f)}{f(d-2f)}=\frac{d-f}{f}$. Para el espejo convexo (fig. 130), f es negativo, y así la fórmula será $\frac{MN}{mn}=-\frac{d+f}{f}$.

796. La imágen de un objeto, que se pinta en un espejo plano puede servir de objeto de reflexion en otro espejo. Si los dos espejos

forman ángulo recto, se ven tres imágenes, dos por la reflexion de cada espejo y una tercera por la reflexion de la imágen de un espejo en el otro. Si los espejos hacen un ángulo de 60°, forman 5 imágenes, y si es de 45°, se forman 7; y en general el número de las imágenes es igual al número de veces menos una, que el ángulo de la mútua inclinacion de los dos espejos entra en 360°, ó sea $\frac{360}{n}-1$, expresando por n el ángulo de los dos espejos; así si los dos espejos son paralelos se ven una infinidad de imágenes, que se van sucesivamente debilitando, hasta hacerse insensibles. Esta multiplicidad de imágenes produce un efecto muy agradable y sumamente variado con el *caleidoscopio*, que consiste en un tubo, que tiene dos espejos inclinados de 45°, en cuya extremidad se colocan pequeños objetos encerrados entre dos vidrios planos, de los cuales el exterior está sin pulimentar.

797. Tambien aumentan el número de las imágenes las dos superficies de un vidrio plano, reflejándose la luz no solo en la anterior sino tambien en la posterior; lo que se puede observar mirando oblicuamente una bujía; y como en muchísimas circunstancias esta multiplicidad de imágenes podria ser un grave inconveniente, por esto son preferibles los espejos metálicos á los de vidrio.

798. Finalmente las fórmulas de que se ha hablado, para la determinacion de los focos, y de las imágenes, no tienen lugar en los espejos esféricos, que tengan una abertura mayor de 8 ó 10 grados: pues si pasa de este punto, los rayos reflejados en los bordes van á encontrar al eje mas cerca del espejo, que los que se han reflejado á corta distancia del mismo eje, resultando de aquí una falta de claridad, que se llama *aberracion* de esfericidad, y como los rayos reflejados sucesivamente se cortan dos á dos, sus puntos de interseccion determinan una curva brillante conocida con el nombre de *cáustica* por reflexion.

CAPÍTULO IV.

DE LA REFRACCION SIMPLE DE LA LUZ.

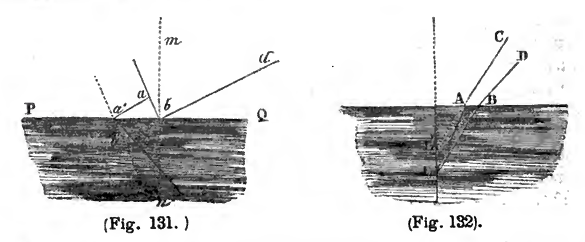
799. La refraccion de la luz consiste en la desviacion, que sufre un rayo luminoso, pasando oblicuamente de un medio á otro: la nueva direccion que toma el rayo, se llama *rayo refractado*; y el ángulo que forma con la perpendicular tirada en el punto de incidencia de la superficie, que separa los dos medios, se llama *ángulo de refraccion*. Segun que el rayo refractado se acerca ó aleja de la perpendicular, se dice que el segundo medio es mas ó menos refringente que el primero.

800. En los medios no cristalizados como el aire, el agua, el vidrio, y en los cristalizados segun el sistema regular, el rayo simple de incidencia es tambien simple despues de la refraccion; pero en los cuerpos cristalizados segun los demás sistemas el rayo incidente se divide en dos, ambos refractados diferentemente. El primer

fenómeno se llama *refraccion simple*, y el segundo *doble refraccion*.

801. En la refraccion simple de la luz se verifican constantemente las dos leyes siguientes; 1.ª *Cualquiera que sea la oblicuidad del rayo incidente, el seno del ángulo de incidencia tiene una relacion constante con el seno del ángulo de refraccion.* 2.ª *Los ángulos de incidencia y de refraccion están en un mismo plano.* Para demostrar estas leyes descubiertas por Cartesio, se hace uso de un círculo vertical graduado, en cuyo centro se coloca un vasito semicilíndrico lleno de agua, de modo que la superficie coincida con el centro; dirigiendo á dicho centro un rayo de luz, este se vé acercarse á la vertical dentro del agua, y salir por la superficie curva sin nueva desviacion, por ser normal á la misma superficie. Por lo que llamando i al ángulo de incidencia, r al de refraccion, y n á la relacion, que existe entre sus senos, se tendrá $\frac{\text{sen.}i}{\text{sen.}r}=n$. Esta relación n se llama *índice de refraccion*, el cual es diferente para los diferentes medios: del aire al agua es de $\frac{4}{3}$; del aire al vidrio de $\frac{3}{2}$.

802. El fenómeno de la refraccion de la luz en el sistema de las emanaciones se explica por medio de la atraccion, que se supone que ejercen los cuerpos sobre la sustancia luminosa, que la hace aumentar de velocidad, por cuyo motivo el cuerpo se muestra mas refringente, cuanto es mas enérgica esta atraccion. En el sistema de las ondulaciones, estas son esféricas, mientras se propagan en un medio igualmente elástico en todos sentidos, pero dejan de serlo en medios de diferente elasticidad. Ahora disminuyendo la movilidad y elasticidad del eter contenido en los cuerpos, segun su diferente naturaleza, y disposicion molecular, tambien disminuye la velocidad de las ondas que originan una refringencia en los cuerpos tanto mayor, cuanto mayor es la disminucion de esta velocidad. En efecto representando por ab (fig. 131) una porcion de la onda que se propaga segun el radio db, al penetrar en el medio Pn, sufrirá una disminucion de velocidad, por la cual, cuando el punto a habrá llegado á a', el punto b no habrá llegado aun á al punto b' de la paralela $a'b'$; las moléculas intermedias entre a y b llegando sucesivamente á la superficie PQ, determinarán dentro del medio Pn una cierta línea $a'c$, cuyo radio ó línea de propagacion bc queda mas inclinado hácia la perpendicular mn, que el radio bd.



(Fig. 131.) (Fig. 132).

803. Por efecto de la refraccion de los rayos luminosos, los cuerpos sumergidos en un medio mas refringente nos parecen mas cercanos á la superficie (fig. 132). Los rayos luminosos LA y LB por ejemplo

que parten del objeto L oblicuamente á la superficie, apartándose de las respectivas perpendiculares, toman las direcciones AC y BD segun las cuales el ojo observa el objeto; cuyas direcciones se encuentran en L' que está mas elevado, y que es el punto al cual referimos el objeto L. Por la misma razon un baston sumergido en parte en un líquido, parece quebrado, pues la parte sumergida aparece mas elevada, que la otra. Así tambien vemos los astros algo mas elevados sobre el horizonte de lo que realmente lo están, porque los rayos oblícuos que envian, entrando en la atmósfera, tanto mas se doblan, cuanto mas densas son las capas que atraviesan; por lo que el ojo refiere la posicion del astro segun la direccion de la tangente de la curva formada por el rayo, siempre mas y mas refractado. Esta desviacion llega á 33' para los astros que observamos en el horizonte.

804. Siendo el ángulo de refraccion siempre menor, que el de incidencia, cuando la luz pasa de un medio menos refringente á otro que lo es mas, se sigue que creciendo el ángulo de refraccion llegará un punto en que el ángulo de incidencia será igual á un recto, en cuyo caso el ángulo de refraccion se llama *ángulo límite*, porque no puede aumentar de valor. Este ángulo para el rayo, que pasa del agua al aire es de 48° 35', y de 41° 48' en el paso del vidrio al aire. Por lo que un rayo que pasa del agua ó del vidrio al aire bajo un ángulo mayor del ángulo límite, en vez de refractarse en el aire, se refleja totalmente dentro de la misma agua ó vidrio, como si la superficie que separa los dos medios fuese un espejo, y por este motivo se llama *reflexion total*. Puédese observar este fenómeno, mirando un objeto á través de un vaso de vidrio lleno de agua, poniendo el vaso un poco mas elevado que el ojo.

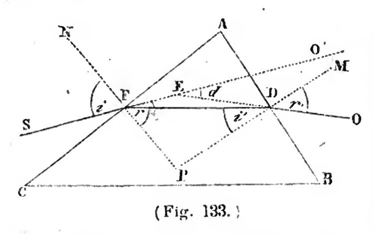
805. Se ha llamado *espejismo* el fenómeno, por el cual se perciben por reflexion en el suelo, y tambien alguna vez en la atmósfera las imágenes invertidas de los objetos lejanos. Así en las llanuras cálidas y arenosas de Egipto el suelo presenta el aspecto de un gran lago, en el que se ven reflejados los árboles y poblaciones inmediatas. En tales lugares el aire que está en contacto con el suelo arenoso, calentándose fuertemente, es menos denso que el de las capas superiores, y así el rayo luminoso emitido oblicuamente por los objetos, se aparta de la perpendicular hasta llegar al ángulo límite, despues del cual ya se refleja y se levanta otra vez, sufriendo una serie sucesiva de refracciones en sentido contrario á las precedentes, hasta llegar al ojo del observador, que refiere el objeto segun la direccion del rayo que recibe.

CAPÍTULO V.

DE LA TRASMISION DE LA LUZ POR MEDIOS DIAFANOS.

806. Atravesando un rayo luminoso un medio terminado por caras paralelas, los rayos emergentes son paralelos á los incidentes; porque entrando el rayo luminoso en el medio, se tendrá $\frac{\text{sen}.i}{\text{sen}.r}=n$, pero el rayo refractado dentro del medio es incidente á la superficie posterior, que lo devuelve al primer medio, luego será $\frac{\text{sen}.r'}{\text{sen}.i'}=n$, de donde $\frac{\text{sen}.i}{\text{sen}.r}=\frac{\text{sen}.r'}{\text{sen}.i'}$; ahora el ángulo $i'=r$ por alternos internos, luego $i=r'$, es decir el rayo emergente es paralelo al rayo incidente.

807. Se llama *prisma* en óptica un medio diáfano terminado por dos superficies inclinadas entre sí. La interseccion de las dos caras se dice *arista*, y el ángulo que forman *ángulo refringente*. Un plano que corta las dos caras paralelamente á la arista se llama *base* del prisma. Finalmente la seccion perpendicular á la arista se llama *seccion principal*.



(Fig. 133.)

808. Por efecto de la refraccion de los rayos luminosos á través de un prisma, un objeto se ve desviado hácia la arista del prisma, y el rayo emergente hácia la base. Así (fig. 133) el rayo OD acercándose á la perpendicular PM, al entrar en el prisma toma la direccion DF, y al salir por el punto F, apartándose de la perpendicular PN, sigue la direccion FS, luego el rayo ha sido desviado hácia la base, y el ojo colocado en S ve el objeto O en O'. El ángulo OEO' formado por los rayos incidente y emergente se llama *ángulo de desviacion del prisma*.

809. La emergencia del rayo luminoso no tiene lugar, sino cuando el ángulo refringente del prisma es menor que el doble del ángulo límite de su sustancia. Sea SF el rayo incidente, para que el rayo FD refractado pueda salir por la cara AB, es necesario que el ángulo i' sea menor que el ángulo límite (804); aumentando el ángulo i, tambien aumenta el ángulo r, y al mismo tiempo disminuye el ángulo i', favoreciéndose así la emergencia tanto mas cuanto el

rayo incidente SF se acerca al paralelismo con el lado AC del prisma. Sea pues el rayo SF paralelo al lado AC, el ángulo r será el ángulo limite$=l$, porque tendrá su máximo valor. Siendo el ángulo P formado por las dos perpendiculares á las caras suplemento de $r+i'$, y tambien de A, será $A=r+i'=l+i'$; luego si $A=2l$, será $i'=l$; y si $A>2l$, será $i>l$; y así no podrá haber emergencia por el lado AB. Mucho menos la podrá haber si el rayo SF no es paralelo con AC, porque al mismo tiempo que disminuye r, aumenta i'. Luego el ángulo refringente del prisma debe ser menor que $2l$. Por lo que siendo el ángulo límite del vidrio de 41° 48′, su ángulo refringente deberá ser menor que 83° 36′, de otra manera no podrá verse algun objeto á través del prisma.

810 Haciendo pasar por un prisma un rayo luminoso introducido en un cuarto obscuro, y dando vueltas al prisma sobre su eje, se observa que el rayo desviado va acercándose al directo hasta un cierto punto, desde el cual vuelve á retroceder, no obstante que se prosiga dando vueltas al prisma en el mismo sentido que antes. El ángulo formado en aquel punto por el rayo emergente y el directo se llama *ángulo de desviacion mínima*, el cual tiene lugar cuando los ángulos de incidencia y emergencia son iguales. En tal caso pues siendo $i=r'$ será tambien $r=i'$, pero $A=r+i'$, luego $A=2r$: llamando d al ángulo de desviacion mínima se tendrá $d=i-r+r'-i'=2i-2r=2i-A$, fórmula que da la desviacion mínima en valores del ángulo de incidencia y del ángulo refringente del prisma.

811. En la ecuacion $n=\frac{\text{sen}.i}{\text{sen}.r}$ del índice de refraccion de una sustancia, sustituyendo el valor de $i=\frac{d+A}{2}$ sacado de la fórmula anterior, y por r su valor $\frac{A}{2}$, se tendrá $n=\frac{\text{sen}.\frac{1}{2}(d+A)}{\text{sen}.\frac{1}{2}A}$. Ahora el ángulo A refringente se conoce por medio de un goniómetro: para determinar el ángulo d de desviacion mínima se hace pasar por el prisma un rayo de luz proveniente de un cuerpo lejano, dando vueltas al prisma hasta obtener la desviacion mínima; en la direccion del rayo refractado se aplica un anteojito, que puede girar al rededor del centro de un círculo graduado, luego dirigiendo el anteojo al objeto, para verlo directamente, el arco corrido indicará la magnitud de la desviacion.

812. Con este método se puede obtener el índice de refraccion de cualquiera sustancia diáfana, porque si es sólida se cortará en forma de prisma, si es líquida se encerrará en un prisma formado por láminas finas de vidrio, y si es gas, se hará del mismo modo, pero de manera que la capacidad interior pueda comunicar por medio de un tubo con llave, con una máquina neumática, y con el recipiente que contiene el gas. Al indice de refraccion del vacío al aire se le ha dado el nombre de *índice absoluto ó indice principal*.

813. Comparando entre sí los indices de refraccion de las diferentes sustancias, se reconoce 1.° que los gases lo tienen muy pequeño

con relacion á los sólidos y líquidos: 2.° que en un mismo gas el poder refractivo es proporcional á su densidad, entendiéndose por *poder refractivo* el cuadrado de su índice de refraccion disminuyendo de la unidad, esto es n^2-1. El cociente de esta cantidad por la densidad de la sustancia toma el nombre de *poder refringente*. 3.° el poder refringente de un gas es constante en toda temperatura y presion, porque su poder refractivo aumenta ó disminuye en proporcion de su densidad. 4.° Los cuerpos mas combustibles, como el hidrógeno, fósforo, azufre, diamante, etc., son tambien los que tienen un mayor poder refringente. Hé aquí una tabla del índice de refraccion de algunas sustancias.

SUSTANCIAS.	INDICE.	SUSTANCIAS.	INDICE.
Diamante.	2,487	Alcohol.	1,363
Sulfuro de carbono.. . .	1,678	Eter..	1,358
Espato de Islandia R. ord.	1,658	Humor aqueo del ojo.	1,358
Id. de id. R. extraor.	1,486	Cristalino.	1,384
Flint-glass.	1,605	Humor vitreo.. . .	1,339
Sal gema..	1,557	Agua.	1,336
Quarzo R. ord.	1,544	Hielo.	1,310
Id. R. extraor.. . . .	1,553	Aire..	1,0003
Crown-glass.	1,534	Vacío.	1,0000

CAPÍTULO VI.

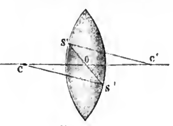
REFRACCION DE LA LUZ Á TRAVÉS DE LAS LENTES.

814. Se llaman *lentes* los cuerpos diáfanos terminados por dos superficies esféricas, ó por una plana y otra esférica. La línea que pasa por sus centros, y es perpendicular á la superficie plana se llama *eje principal* de la lente. Combinándose las superficies esféricas convexas, cóncavas y planas entre sí, resultan seis especies de lentes que son 1.ª bi-convexas; 2.ª plano-convexas; 3.ª cóncavo-convexas, en que el radio de la superficie cóncava es mayor que el de la convexa; 4.ª bi-cóncavas; 5.ª plano-cóncavas; 6.ª convexo-cóncavas, en que el radio de la superficie convexa es mayor que el de la cóncava. La tercera y la sexta se llaman tambien *lentes periscópicas* ó *meniscos*. Las tres primeras que tienen el borde mas delgado que la parte central son convergentes, y las otras tres que lo tienen mas grueso son divergentes.

815. *Foco* de la lente es aquel punto donde van á concurrir los rayos refractados ó sus prolongaciones. Los rayos incidentes paralelos al eje concurren en un punto del mismo eje, que se llaman *foco prin-*

cipal y su distancia á la lente *distancia focal principal.* Si en vez de los rayos concurren sus prolongaciones, el punto en que se cruzan, se llama *foco virtual.* Finalmente se dice *foco conjugado* el punto en que concurren los rayos incidentes no paralelos ó sus prolongaciones despues de su refraccion.

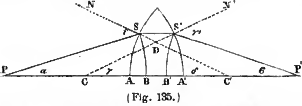
816 Se llama *centro óptico* de una lente aquel punto del eje principal, por el cual pasando los rayos luminosos, salen de la lente en una direccion paralela á la de su incidencia. Este punto se halla en la interseccion del eje con la recta, que une los extremos de los radios de las dos curvaturas paralelos entre sí. Sean los radios CS y C'S' (fig. 134), paralelos entre sí, tambien los elementos S y S' de las superficies lo serán, siendo perpendiculares á los radios, luego el rayo luminoso, que dentro de la lente seguirá la direccion SS' saldrá en una direccion paralela, á la que tenia antes de penetrar en la misma lente (806). Ahora los triángulos COS y C'OS' siendo semejantes, dan CO : C'O : : CS : C'S', de donde CO : CO+OC' : : CS : CS+C'S' ; llamando r y r' á los radios y m á la distancia de los centros de curvatura se tendrá $CO=\frac{r.m}{r+r'}$; pero r, r' y m son cantidades constantes para una misma lente, luego tambien será constante la recta CO, y por consiguiente el punto O, cualquiera que sea el paralelismo de los dos radios.



(Fig. 134).

817. Toda recta que pasa por el centro óptico de una lente sin pasar por los centros de curvatura se llama *eje secundario.* Los ejes secundarios representan rayos luminosos, que pasan por el centro óptico, y vienen de puntos colocados fuera del eje principal, porque siendo la lente de pequeño espesor, se puede despreciar la pequeña desviacion en sentido paralelo, que sufre el rayo, pasando por la lente.

818. **Dados los radios de curvatura de una lente, su indice de refraccion y la distancia del punto luminoso, facilmente se podrá determinar el punto donde los radios**



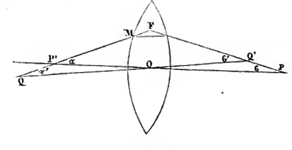
(Fig. 135.)

refractados ó sus prolongaciones se encontrarán. Sea P (fig. 135) un punto luminoso colocado sobre el eje principal, PS un rayo incidente, SS' el rayo refractado dentro la lente, y S'P' el rayo emergente hasta el encuentro del eje. Hágase CS'=R, C'S=

R′, y los ángulos $SPA=\alpha$, $S'P'A=\beta$, $S'CA'=\gamma$, $SC'A=\delta$, $PSN=i$, $S'SC'=r$, $SS'C=i'$, $N'S'P'=r'$; se tendrá $i=\alpha+\delta$, $r'=\gamma+\beta$, $i+r'=\alpha+\beta+\gamma+\delta$; además siendo $sen.i=n\times sen.r$, $sen.r'=n\times sen.i'$, si se supone que el arco AS sea bastante pequeño, los ángulos i, r, i', r', lo serán tambien, y sus senos se confundirán sensiblemente con los arcos, por lo qus $i=n.r$, $r'=n.i'$, $i+r'=n\,(r+i')=n(\gamma+\delta)$, porque los triángulos SDS′ y CDC′ tienen los ángulos en D iguales: por tanto $\alpha+\beta+\gamma+\delta=n(\gamma+\delta)$, de donde $\alpha+\beta=(n-1)(\gamma+\delta)$; suponiendo los arcos α, β, γ, δ descritos con un radio igual á la unidad, se tendrá $\frac{\alpha}{1}=\frac{SB}{PB}$, $\frac{\beta}{1}=\frac{S'B'}{P'B'}$, $\frac{\gamma}{1}=\frac{S'A'}{R}$, $\frac{\delta}{1}=\frac{SA}{R'}$ y sustituyendo estos valores en la ecuacion precedente, resulta $\frac{SB}{PB}+\frac{S'B'}{P'B'}=(n-1)\left(\frac{S'A'}{R}+\frac{SA}{R'}\right)$, pero siendo muy pequeño el espesor de la lente, y los arcos tambien muy pequeños, se tendrá $PB=PA=d$, $P'B'=P'A'=d'$, $SB=SA=S'B'=S'A'$, cuyos valores sustituidos en la ecuacion anterior dan $\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)$, ecuacion que satisface la cuestion propuesta.

819. Sea 1.° $d=\infty$, esto es el punto luminoso á una distancia sumamente grande, resulta $\frac{1}{d'}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)=\frac{1}{f}$ representando por f la distancia focal principal cuyo valor sustituido en la ecuacion fundamental, da $\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}=\frac{1}{f}$ (A), que es la fórmula ordinariamente empleada. Suponiendo una lente de vidrio de igual curvatura por ambos lados será $\frac{1}{f}=\left(\frac{3}{2}-1\right)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R}\right)=\frac{1}{R}$, que indica que el foco principal coincide próximamente con el centro de curvatura. En la fórmula (A) despejando d', resulta $d'=\frac{df}{d-f}$ (B). 2.° Si $d=f$, se tiene $d'=\infty$, esto es que puesto el punto luminoso en el foco principal, su imágen se pinta á una distancia infinita, ó sea los rayos refractados son paralelos. 3.° Si $d<f$, $d-f$ será negativo, y por consiguiente lo será tambien el quebrado $\frac{df}{d-f}$; lo que indica que la imágen se formará en la parte opuesta, esto es, por las prolongaciones de los rayos refractados. Por tanto el foco será real, si el objeto se halla á una distancia de la lente mayor que el radio de curvatura, y será virtual, si se coloca á una distancia menor que el mismo radio.

820. En las lentes bicóncavas, los radios de curvatura estando en sentido opuesto, f será negativo, y la fórmula (B) se transformará en $d'=-\frac{df}{d+f}$; lo que indica, que el valor de d' será siempre negativo, ó sea que no son los rayos refractados los que con-



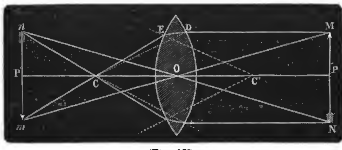
(Fig. 136.)

curren, sino sus prolongaciones, y por tanto en las lentes bicóncavas d' y f tendrán

un mismo signo; y la cantidad d tendrá signo opuesto. Asi pues en general para estos lentes la fórmula (A) será $\frac{1}{d}-\frac{1}{d'}=-\frac{1}{f}$.

821. Lo que se ha dicho de un punto luminoso colocado sobre el eje principal, tiene tambien lugar para un punto luminoso colocado sobre el eje secundario. En efecto tirado desde el punto Q el rayo luminoso QM (fig. 136), este rayo despues de refractado cortará al eje secundario QQ′ en el punto Q. Ahora tirado el eje principal, en los dos triángulos QFQ′ y PFP′ es $\alpha'+\beta'=\alpha+\beta=(n-1)(\gamma+\delta)$ (818), así pues sustituyendo los valores de α', β', γ, δ como se hizo en el citado número, y haciendo QO$=d$, Q′C$=d'$, resulta tambien $\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)=\frac{1}{f}$.

822. Queriendo determinar la posicion de la imágen de un objeto colocado delante de una lente, tírese desde uno de sus extremos M (fig. 137), el eje secundario MO, luego otro rayo incidente cualquiera MD, tírese al punto D el radio de curvatura CD, y trácese el rayo refractado DE, segun el valor del índice de refraccion, tírese el otro radio de curvatura C′E, y luego el rayo emergente Em separándolo del radio, lo que exija el índice de refraccion, y este rayo ó su

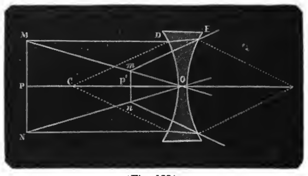


(Fig. 137.)

prolongacion cortará al eje secundario en el punto m, que será la imágen del punto M; haciendo la misma construccion para el punto N, se tendrá la posicion mn de los extremos de la imágen, y por consiguiente tambien de los demás puntos intermedios.

823. Para determinar la magnitud de la imágen, los dos triángulos MON y mOn siendo semejantes, dan $\frac{MN}{mn}=\frac{OP}{OP'}=\frac{d}{d'}=$ 819 $\frac{d(f-d)}{df}=\frac{f-d}{f}$. Tanto esta fórmula como la construccion geométrica expuesta precedentemente manifiestan que las imágenes virtuales obteoidas con una lente de convergencia son mayores que los objetos, y como no son los rayos los que se cruzan, sino sus prolongaciones, estas imágenes son derechas. 2.° Son invertidas y mas pequeñas las imágenes reales, formadas por los objetos colocados á una distancia mayor que el doble del radio. 3.° Si el objeto está á una distancia igual al doble del radio, la imágen está á igual distancia y es del mismo tamaño que el objeto. 4.° En las lentes de divergencia las imágenes siempre son derechas, virtuales, y mas pequeñas, pues su relacion es (fig. 138) $\frac{MN}{mn}=\frac{d}{d'}=\frac{f+d}{f}$ (820).

824. En la teoria de las lentes se ha supuesto que la abertura de la lente, ó sea el ángulo que forman dos radios de curvatura tirados á sus bordes en la seccion principal no pasa de 10 ó 12 grados. En caso que sea mayor, los radios que atraviesan la lente cerca de los bordes, encuentran al eje en puntos mas cercanos á la lente que los



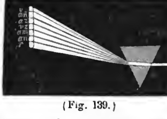
(Fig. 138).

demás, cuyo fenómeno se designa con el nombre de *aberracion de esfericidad por refraccion*, que da origen á unas superficies brillantes formadas por la interseccion de los rayos refractados fuera del eje que se llaman *cáusticas* por *refraccion*.

CAPÍTULO VII.

DE LA DISPERSION Y RECOMPOSICION DE LA LUZ.

825. Cuando un rayo de luz atraviesa un prisma, no solo se refracta, acercándose á la base, sino tambien toma una extension notable en el sentido perpendicular á la arista del prisma (fig. 139). Este fenómeno toma el nombre de *dispersion de la luz*. Recibiendo esta luz oblonga sobre una pantalla en un cuarto obscuro, se ve iluminada con los siguientes colores comenzando por los menos refractados; rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil, morado; el espacio así iluminado se llama *espectro solar*. Representando por 100 su longitud, los diferentes colores segun Fraunhofer ocupan el



(Fig. 139.)

espacio	rojo,	anaranjado,	amarillo,	verde,	azul,	añil,	morado.
	15,5	7,5	7,5	12,8	13,3	13,1	30.3

Las luces artificiales producen tambien y con el mismo órden los colores del espectro solar, pero á veces falta alguno.

826. La longitud del espectro ó sea el poder dispersivo de las

prismas varía en las diferentes sustancias, y se mide por la diferencia de los índices de refraccion de los rayos extremos del espectro. En el vidrio llamado *crown* esta diferencia es de 0,0246, y en el llamado *flint* es de 0,0433 esto es, casi el doble. La dispersion disminuye tambien, disminuyendo el ángulo refringente del prisma, pues si este ángulo se redujese á cero, siendo entonces las caras opuestas paralelas, no habria dispersion.

827. Aunque son 7 los colores mas decididos del espectro, se distinguen otros muchos intermedios, que no es facil determinar; asi mismo todos estos colores no son continuos, pues observando el espectro producido por un rayo de luz introducido en un cuarto por una abertura muy estrecha, llegan á contarse por medio de una lente acromática, hasta 600 rayas de las cuales 7 son las mas distinguibles llamadas *rayas* de Fraunhofer, que fué quien primero las observó. Estas siete rayas sirven para poder apreciar con exactitud el índice de refraccion de cada color. Actualmente en el espectro se conocen mas de 3000 rayas.

828. Estas rayas en el especto solar conservan constantemente una misma posicion indicada por la fig. 139*, pero en los espectros de otras luces su posicion y número es diferente. Si la luz procede de cuerpos sólidos ó líquidos incandescentes, como el carbon enrojecido, el platino ó la plata fundida, etc. el espectro que se obtiene es contínuo y uniforme, sin rayas oscuras, pero si procede de sustancias gaseosas que forman llama, queda dividido por espacios oscuros. Las sustancias que á fuerza de una temperatura elevada llegan á volatizarse, dan origen á rayas brillantes, en que dominan ciertos colores. Tales son los espectros obtenidos ó por medio del arco luminoso voltaico entre un polo de carbon y otro de un cuerpo metálico ó aleacion, ó volatilizando una perlita de un cloruro introducido en la llama de alcohol ó del gas del alumbrado. En estos espectros se observan diferencias que permiten reconocer la sustancia empleada. Por este procedimiento, que constituye un medio de analizar las sustancias, superior á todos los conocidos, y que se ha llamado *análisis espectral*, se han descubierto recientemente tres nuevos metales, á saber, el *cesio* que produce dos hermosas rayas azules, el *rubidio*, cuyo espectro está caracterizado por dos rayas rojas brillantes; y el *talio* que da orígen á una sola raya verde muy brillante. Finalmente por las experiencias de M. Plucker hechas sobre los gases compuestos

A a B C D E b F G H

(Fig. 139*.)

enrarecidos, con los tubos de Geissler se obtienen los espectros propios de cada elemento. Habiendo observado que unas sesenta rayas oscuras del espectro solar corresponden á otras tantas rayas luminosas del espectro que da el hierro incandescente, se ha creido que aquellas eran quizás debidas al hierro volatilizado existente en la atmósfera luminosa del sol, las cuales por un efecto de contraste aparecen oscuras, por sobreponerse el espectro de dicha atmósfera al espectro sin comparacion mucho mas brillante del nucleo solar, el cual si se pudiese ver solo, produciria un espectro contínuo.

829. Los siete colores dichos del espectro solar se suelen llamar simples ó elementales, porque recibiéndose sus centros luminosos sobre otro prisma, no se descomponen en otros colores; y tambien por que reunidos todos reproducen la luz blanca, lo que no se verifica si en su reunion se excluye alguno de ellos; por esta razon tambien se llaman *colores complementarios* los que reunidos producen el blanco. Por lo que un color cualquiera tiene siempre su complementario, porque le falta alguno, para producir el blanco. Así el verde es complementario del rojo morado, y el color morado lo es del amarillo.

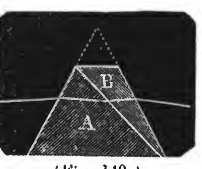
830. De varios modos se puede reproducir la luz blanca con los colores prismáticos; 1.° recibiendo el espectro sobre un espejo cóncavo que los reune en su foco, donde se presenta otra vez la luz blanca 2.° recibiéndolo sobre una lenta convexa, que los reune tambien en su foco. 3.° haciendo caer cada color del espectro sobre un distinto espejito, y dando á todos los espejos una inclinacion tal que reflejen la luz sobre un mismo punto, el cual se ve así iluminado con la luz blanca. 4.° Aplicando al prisma otro prisma igual al primero y vuelto su ángulo refringente en sentido contrario, pues así se constituye un cuerpo diáfano de caras paralelas, del cual emerge la luz en una direccion paralela á la de incidencia. 5.° Finalmente dando vueltas rápidamente á una superficie circular dividida en siete sectores, de los cuales cada uno tiene un color del espectro, y ocupa una posicion relativa y una estension proporcional á la posicion y estension del color respectivo en el espectro, se produce la sensacion de la luz blanca ó mas bien agrisada, pues aunque se imiten bien los colores, no llegan á la perfeccion de los que se producen en el espectro.

831. Los distintos colores producidos por la luz blanca, al atravesar un prisma, ofrecen el medio de explicar los colores propios de cada cuerpo: pero esta explicacion es muy distinta en los dos sistemas, á saber, de las emanaciones y de las vibraciones. Segun el sistema de las emanaciones la materia luminosa se compone de siete sustancias diferentes, cuya composicion constituye la luz blanca. Si las superficies de los cuerpos absorben alguno de estos siete rayos, los que quedan producirán el calor propio del cuerpo: de modo que los cuerpos blancos son los que reflejan toda clase de rayos, y en la misma proporcion que los reciben; los cuerpos rojos, reflejan solo el rojo y absorben los demás; los negros son los que absorben todas las clases de rayos. La dispersion de la luz á través del prisma segun este mismo sistema es un efecto de la diferente atraccion, que egercen los medios sobre cada uno de los diferentes rayos colorados.

832. Segun el sistema de las vibraciones, la naturaleza de la luz ó sea la coloracion de los objetos depende de la velocidad diferente, con que vibran las moléculas del eter contenido en los cuerpos, la cual segun los cálculos de Fresnel es tanto mayor, cuanto mayor es su refraccion en los medios transparentes. La dispersion de los colores en el espectro solar seria el resultado de la menor velocidad con que se propagan las ondas luminosas de menor longitud á través de los medios, originando así su mayor refraccion.

833. El espectro solar no solo goza de propiedades luminosas, sino tambien caloríficas, químicas, fosforogénicas, etc. En cuanto á la luz parece que la mayor intensidad está en el color amarillo, y la menor en el morado. Y por esta razon el índice de refraccion se refiere siempre al punto medio del amarillo. En cuanto al calor, este crece desde el morado hácia el rojo. El máximo de calor suele estar desde el amarillo hácia el rojo, apartándose tanto mas de aquel punto, cuanto mas diatérmica es la sustancia del prisma; lo que se comprueba por medio del termo-multiplicador. Así ha hallado Melloni, que la sal gema produce el máximo de calor aun mas allá del rojo. Observamos que muchas sustancias se alteran exponiéndolas á la luz. Este efecto es debido á los rayos mas refrangibles del espectro, porque exponiendo el cloruro de plata, por ejemplo, á los diversos colores del prisma le vemos ennegrecerse con tanta mayor prontitud, cuanto mas cercano está al color morado, y aun mas allá de este color, como si existiesen rayos aun mas refrangibles incapaces de actuar sobre la retina. Así pues existe un espectro químico, cuyo máximo de intensidad debe colocarse cerca de la extremidad del color morado. Expuesto el sulfuro de bario, ó de calcio, y otros cuerpos á los rayos morados y aun mas allá fuera del espectro, M. Becquerel observó que se hacian luminosos en la oscuridad por algun tiempo, y así á esta clase de rayos les dió el nombre de fosforogénicos. Otros físicos admiten rayos eléctricos y magnéticos, pero su existencia no está bien comprobada.

834. Se llaman *prismas acromáticos*, los que refractando el rayo de luz, no lo descomponen en sus colores. Así por ej. aplicando á un pisma A (fig. 140) de crown-glass otro prisma B en sentido opuesto de flint-glass, como este tiene un poder dispersivo casi doble del primero, dándole un ángulo refringente la mitad menor, saldrá la luz refractada, porque las caras opuestas no serán paralelas, pero el rayo refractado no se habrá descompuesto, porque el mayor poder dispersivo del uno se habrá neutralizado con el mayor ángulo refringente del otro.



(Fig. 140.)

835. Las lentes refractan los rayos luminosos análogamente á lo que lo hacen los prismas, por lo cual con una lente se obtiene en el foco un espacito terminado por anillos colorados por los colores del espectro, porque los rayos mas refrangibles van á concurrir mas

cerca de la lente, y así recibiéndose los rayos sobre un plano colocado en el foco de los rayos rojos, queda iluminado el contorno con los demás colores, que despues de cruzarse delante del plano vuelven á separarse. A este fenómeno se le da el nombre de *aberracion de refrangibilidad.* Se han construido lentes de diferentes sustancias, de modo que unidas formen como una sola lente, en la cual el mayor poder dispersivo de una se compense con la mayor refringencia de la otra. Estas lentes se llaman *acromáticas.* Ordinariamente no se acromatizan sino los rayos rojos y amarillos, aunque en realidad para que un prisma ó una lente fuese perfectamente acromática, se necesitarian siete vidrios desigualmente dispersivos, y convenientemente refrangibles.

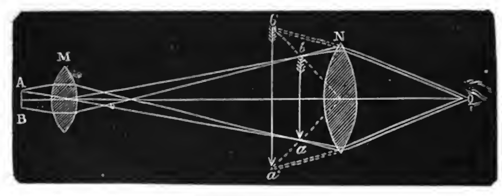
CAPÍTULO VIII.

DESCRIPCION DE LOS MICROSCOPIOS Y TELESCOPIOS.

836. Entre los instrumentos de óptica unos hay destinados á observar los objetos, que por su pequeñez no se podrian bien examinar, y se llaman *microscopios;* otros por el contrario sirven para observar los objetos muy lejanos, y se llaman *telescopios.*

837. Hay dos especies de microscópios, el simple y el compuesto. El *microscopio simple* consta de una sola lente de convergencia, ó de muchas unidas, que obran como una sola. El objeto aplicado á un vidrio sostenido sobre un anillo se coloca entre el foco principal y la lente, y el ojo aplicado á la parte opuesta ve la imágen virtual, recta y amplificada del objeto, el cual para que sea mas visible, se ilumina con un reflector concavo, si es trasparente, ó por otra lente, si es opaco, haciendo que los rayos luminosos reunidos por el reflector, ó por la lente, caigan sobre el objeto. El aumento lineal se calcula por la fórmula $\frac{MN}{mn}=\frac{f-d}{f}$ (823).

838. El *microscopio compuesto* consta de dos lentes de convergen-



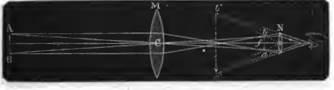
(Fig. 141).

cia, la una M (fig. 141) de foco corto, llamada *objetiva,* porque está

cerca del objeto, y la otra N de un foco menos convergente llamada *ocular* porque á ella se aplica el ojo. Puesto el objeto AB un poco mas allá del foco principal, produce una imágen *ab* real, invertida, y amplificada; cerca de esta imágen se coloca la lente ocular, que da una segunda imágen *a'b'* virtual, mas amplificada, y recta con relacion á la imágen *ab*, como en el microscopio simple. El aumento en este aparato es igual al producto de los aumentos respectivos del objetivo y del ocular. Así si el uno aumenta 10 veces, y el otro 20, el aumento definitivo será 200. Este aumento depende de la convexidad de las lentes, de su mútua distancia combinada con la del objeto al objetivo.

839. Para medir experimentalmente el aumento producido por un microscopio, se coloca delante del objetivo un *micrómetro*, que consiste en una laminita de vidrio, que tiene trazadas con un diamante muchas rayas paralelas distantes $\frac{1}{10}$ ó $\frac{1}{100}$ de milímetro; luego se reciben estas rayas en otra lámina de vidrio puesta detrás del ocular con una inclinacion de 45°, y sobre ella se aplica el ojo, para ver la imágen formada sobre una escala dividida en milímetros, que se coloca en el lugar donde se ve la imágen. Por lo que si esta ocupa 20 milímetros por ej., y el objeto comprende 8 rayas del micrómetro dividido en décimos de milímetro, el tamaño del objeto será $\frac{8}{10}$ y el aumento será $20 : \frac{8}{10} = \frac{200}{8} = 25$.

840. El *anteojo ó telescopio astronómico* consta de un objetivo M (fig. 142), muy poco convergente y de un ocular N que lo es mucho.



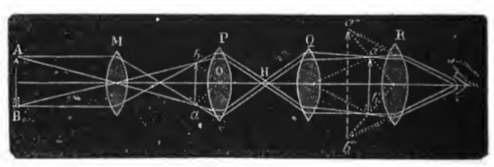
(Fig. 142.)

Como los rayos luminosos que vienen del objeto muy distante son sensiblemente paralelos, todos se reunen en el foco donde se produce una imágen real *ab* invertida y muy pequeña, que se recibe entre el ocular y su foco. Este ocular da otra imágen *a'b'* virtual, amplificada y recta con relacion á la primera como hace el microscopio simple. El aumento de este aparato se calcula partiendo la distancia focal del objetivo por la del ocular, esto es, $\frac{Cf}{fO}$, siendo *f* el foco del objetivo M, donde coincide aproximadamente el del ocular.

841. Cuando se desea mucha precision, en el punto donde se for-

ma la imágen se añade al telescopio una *retícula*, que consiste en dos hilos metálicos ó de seda muy finos, puestos en cruz en una abertura circular colocada en el sitio, donde se produce la imágen.

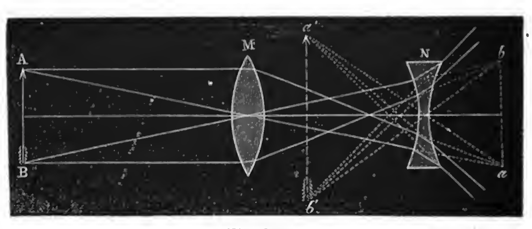
842. El *anteojo terrestre* solo difiere del astronómico, en que se añaden otras dos lentes convergentes para enderezar la imágen. En efecto los rayos paralelos que vienen de un objeto lejano AB (fig. 143), forman la imágen *ab* invertida, como esta imágen se halla en el foco



(Fig. 143.)

de la lente P los rayos salen paralelos á los respectivos ejes secundarios *oa*, *ob*, cruzándose en H, que es el foco comun de las dos lentes P y Q; al salir de esta última lente, los rayos concurren en *a'b'*, la cual imágen situada entre el ocular R y su foco, se ve amplificada en *a''b''* como en el microscopio simple.

843. El *anteojo de Galileo* se compone de dos lentes, la objetiva M (fig. 144) convergente, y la ocular N divergente. Los rayos emitidos del objeto AB tienden á producir una imágen *ab* real, inverti-

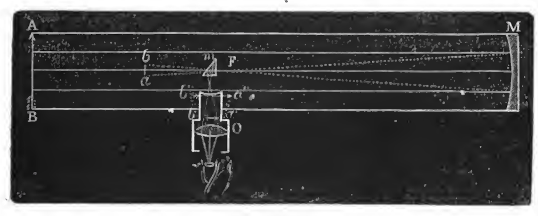


(Fig. 144.)

da y mas pequeña, pero encontrando al ocular N, se refractan, separándose de sus respectivos ejes secundarios correspondientes á los puntos A y B: ahora las prolongaciones de estos rayos van á concurrir en los puntos *a'* y *b'* y el ojo que los recibe, ve una imágen *a'b'* derecha y amplificada. La distancia de las dos lentes es igual á la diferencia de sus distancias focales, y así este anteojo es muy corto y

manejable, y además intercepta poca luz, por constar de solos dos vidrios. Los anteojos de teatro llamados *gemelos* no son otra cosa, que el anteojo descrito, pero doble, uno para cada ojo, con lo que se aumenta el brillo de las imágenes.

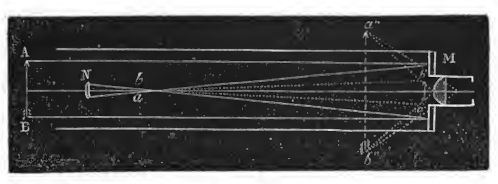
844. Además de estos telescopios, hay otros, que constan de lentes y espejos llamados por esta razon *catadióptricos*. El de *Newton*, el mas antiguo de todos, consiste en un tubo, en cuyo fondo hay un espejo cóncavo metálico M que concentra los rayos paralelos venidos del objeto AB (fig. 145). Estos rayos despues de haberse cruzado en el foco F, se reciben en un pequeño espejo plano *m*, que tiene una inclinacion de 45° con respecto al eje del tubo, el cual los dirije hácia la



(Fig. 145.)

lente ocular *o*. La imágen *ab* que produciria el espejo M, por la reflexion del espejo *m* se forma en *a'b'* situada entre el ocular y su foco, y así el ojo la ve amplificada en *a''b''*, como en el microscopio simple.

845. El telescopio de *Gregory* tiene tambien en el fondo del tubo un espejo cóncavo metálico M, pero agujereado en su centro (fig. 146); la imágen *ab* invertida, que forman los rayos paralelos reflejados, está situada entre el centro y el foco de otro pequeño espejo

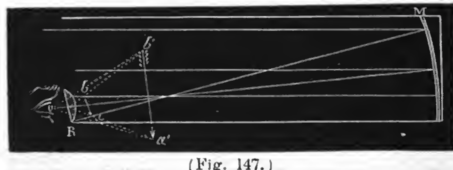


(Fig. 146.)

metálico N, que produce una segunda imágen *a'b'* algo amplificada é invertida con relacion á la inmediata: á esta imágen se aplica una lente ocular colocada en el agujero del espejo M, que la ampli-

fica, formando una tercera imágen $a''b''$ como en el telescopio precedente.

846. El telescopio de Herscheel tiene igualmente un espejo cóncavo metálico M (fig. 147) en el fondo del tubo algo inclinado, para



(Fig. 147.)

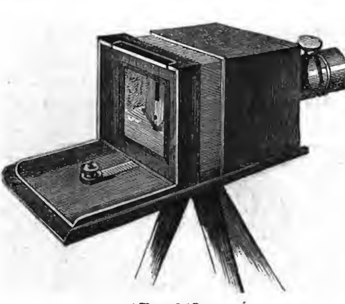
que los rayos reflejados formen la imágen *ab* cerca del borde del tubo donde se coloca el ocular R, que la amplifica.

847. M. Foncault ha reemplazado ventajosamente los espejos metálicos de estos instrumentos, por espejos de vidrio plateados, que como se dijo *n.*786, reflejan mejor la luz, y son susceptibles de gran pulimento, con lo que las imágenes, que se obtienen, son mas puras y mas iluminadas.

CAPÍTULO IX.

DE ALGUNOS OTROS INSTRUMENTOS DE ÓPTICA.

848. Uno de los instrumentos mas sencillos y á caso el mas vulgar, es la *cámara oscura.* Este aparato, que tiene por objeto aislar la luz y las imágenes, que se forman en su interior, consiste en una caja rectangular (fig. 148), que tiene en uno de sus lados una abertura circular, á la cual se adapta un tubo con una lente convexa M, ó un sistema de lentes, por cuyo medio en la pared opuesta, formada con un vidrio esmerilado, se pintan las imágenes invertidas de los objetos exteriores con dimensiones reducidas, y con sus colores naturales. Estas imágenes están tanto mejor iluminadas, cuanto mayor es la lente, y sus dimensiones crecen con la distancia focal.



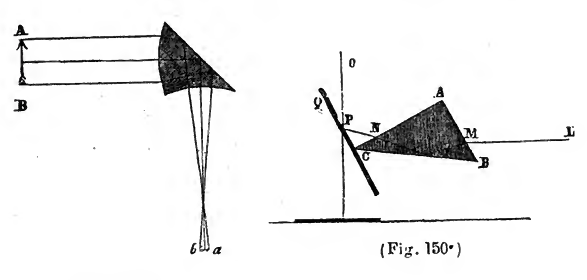
(Fig. 148.)

849. Para que se puedan dibujar las imágenes se coloca delante de la pared, en que se forman, un espejo plano inclinado 45° que cambia la direccion de los rayos, formándose así la imágen en la pared superior horizontal, donde se coloca el vidrio esmerilado. A veces la lente se reemplaza con un prisma (fig. 149) de ángulo recto y de lados iguales; el lado que se dirige hácia los objetos exteriores está configurado á modo de lente convexa, y el otro en superficie cóncava; los rayos entrando por la cara convexa sufren la reflexion total en la hipotenusa, y emergen por la cara concava produciéndose el efecto de un menisco de convergencia, en cuyo foco se coloca el papel para dibujar las imágenes que se ven pintadas.

850. El *daguerreotipo* es una cámara oscura ordinaria, en la que en el punto donde se ve la imágen se pone una lámina cubierta de una sustancia impresionable á la luz, que la altera mas ó menos, segun la intensidad de los rayos luminosos emitidos por los diferentes puntos del objeto, que se desea reproducir. El arte de producir las imágenes por la accion de la luz, y fijarlos para que no se alteren despues de producidas, se ha llamado *fotografía*.

851. Vollaston inventó un aparato enteramente diferente para dibujar las imágenes, sin necesidad de cámara oscura, y por esto le dió el nombre de *cámara lucida*. Este aparato modificado por Amici consiste en un prisma rectangular ABC (fig. 150); el rayo luminoso LM que penetra por la cara AB, sufre la reflexion total en la cara BC, y al salir en la direccion NP, encuentra una lámina de vidrio Q que lo refleja, y así el ojo colocado en O puede dibujar con el lápiz la imágen que ve á través del vidrio en la direccion OP.

852. La *linterna mágica* es un aparato que sirve para obtener en un plano blanco de una habitacion oscura las imágenes amplifica-

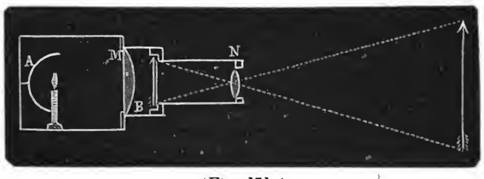


(Fig. 150)

(Fig. 149.)

das de objetos pequeños. En el interior de una caja de madera ó de hoja-

lata, cuyo perfil se ve en la fig. 151, se coloca una lámpara situada en el foco de un reflector cóncavo A, que refleja los rayos luminosos sobre una lente M, en cuyo foco se reunen, iluminando así perfectamente unas pequeñas figuras pintadas en un vidrio plano B, que se



(Fig. 151.)

coloca en aquel punto: hallándose estas figuras á una distancia algo mayor que la focal de una segunda lente N de convergencia, esta produce en su foco conjugado una imágen real, invertida y amplificada de dichas figuras. Cuando estas imágenes se ven á través de planos trasparentes, la linterna mágica toma el nombre de *fantasmagoría*.

853. El *microscopio solar* es una linterna mágica iluminada por la luz solar. Un espejo plano situado fuera de la ventana de una habitacion oscura refleja los rayos solares sobre la lente convergente que los reune: una segunda lente de un foco cortísimo los concentra sobre el objeto microscópico colocado en este punto: el objeto así iluminado estando cerca del foco de una tercera lente muy convergente determina su imágen real, invertida y sumamente amplificada sobre un plano blanco colocado á una conveniente distancia. Un mecanismo aplicado al espejo permite que los rayos de luz se dirijan constantemente en el sentido del eje del microscopio. Estas experiencias producen muy buen efecto de noche reemplazando la luz solar con la de oxicalcio, ó de Drumont, ó mejor aun con la luz eléctrica, que es muy preferible á las demás por su intensidad y fijeza.

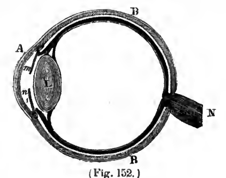
854. En los puertos se hace uso de unos aparatos análogos á la linterna mágica, llamados *faros*. Una luz proveniente de 3 ó 5 mechas alimentadas con aceite, ó bien la luz Drumont, ó la eléctrica producida por una poderosa máquina de Clarck se halla colocada en el foco de una gran lente, que la emite con una pequeña divergencia hácia el horizonte. Esta lente, para que absorba poca luz está formada de una lente plano-convexa rodeada de una serie de segmentos lenticulares anulares y concéntricos, cuyos focos van á reunirse todos en un mismo punto. La luz de algunos faros llega á distinguirse á mas de 30 leguas de distancia. Un mecanismo de relojería hace girar todo el

aparato, para que el cono de luz ilumine sucesivamente todos los puntos del horizonte, ejecutando su giro en un tiempo, que varia para cada faro, á fin que los navegantes puedan distinguir la luz de los faros de cualesquiera otros fuegos, y reconocer por el tiempo de sus eclipses, á qué puerto corresponden.

CAPÍTULO X.

DEL OJO Y DE LOS FENÓMENOS DE LA VISION.

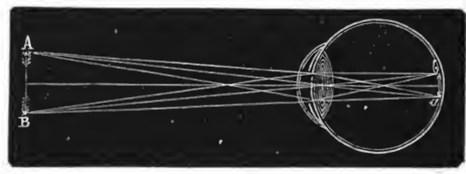
855. El *ojo humano* es el instrumento óptico por excelencia, el mas perfecto que se conoce, órgano de la vision, por medio del cual la luz emitida ó reflejada por los cuerpos origina en nosotros la sensacion, que nos revela su presencia. Esta pequeña parte del cuerpo (fig. 152) es próximamente esférica, situada en una concavidad huesosa llamada *órbita*, y consta de tres membranas y de tres líquidos. La membrana exterior, que envuelve al ojo, se compone de dos partes, la anterior A mas pequeña y trasparente llamada *cornea* de unos 11 ó 12 milímetros de base, y la posterior B opaca denominada *esclerótica*. Estas dos partes están separadas por un diafragma *mn* anular y opaco llamado *iris*, cuyo centro agujereado es la *pupila*. Detrás del iris se halla una sustancia lenticular L llamada *cristalino*, cuya cara anterior es menos convexa, que la posterior, y está formado por unas laminitas casi concéntricas sumamente blandas en las partes superficiales, y mas duras en la central, conocidas con el nombre de humor de *Morgagni*. La superficie interior del ojo hasta el cristalino está tapizada por una membrana negra llamada *coroidea*, sobre la cual se extiende la *retina*, que es la que recibe la impresion de la luz, y la trasmite al cerebro por medio del *nervio óptico* N, que penetra dentro del ojo, perdiéndose en la misma retina. Entre la cornea y el cristalino hay un líquido trasparente llamado *humor acuoso*, y todo el interior del ojo está lleno de otro líquido denominado *humor vítreo*.



(Fig. 152.)

856. La estructura pues del ojo es análoga á la de la cámara os-

cura (848). La fig. 153 hace ver como los rayos luminosos emitidos



(Fig. 153.)

por un objeto AB, penetrando en el ojo, sufren una refraccion, en virtud de la cual tienden á reunirse en su respectivo foco. Los diferentes medios de que consta el ojo, y su conveniente curvatura hacen que estos focos caigan en la retina, donde se forma una imágen *ba* invertida, real y muy pequeña del objeto AB.

857. No teniendo los diferentes humores del ojo la misma densidad en los distintos individuos, y cambiando tal vez en un mismo individuo con la edad, para que las imágenes se formen con la debida claridad en la retina, deberán colocarse los objetos á diferente distancia para cada individuo: esta distancia, llamada de la *vision distinta*, para objetos pequeños como los caracteres de imprenta, es de unos 25 ó 30 centímetros en personas de regular vista; denominándose *míopes* los que para verlos con toda claridad y sin trabajo necesitan ponerlos á menor distancia, y *presbites* aquellos á quienes es necesario colocarlos á una distancia mayor.

858. Como la distancia del foco depende de la del objeto segun lo expuesto en el núm. 818, de modo que aumentando esta, disminuye aquella, el ojo debe poseer medios, para que puestos los objetos en tan diferentes distancias, siempre se obtengan imágenes claras en la retina. Segun algunos fisiólogos se verifican en el ojo movimientos espóntáneos, por cuyo medio se alarga ó acorta la distancia de la retina al cristalino, ó bien aumenta ó disminuye la convexidad del ojo. Otros creen que atendidos los diferentes medios refringentes, que se hallan en el ojo y su particular configuracion, el sitio en que puede obrar la luz sobre la retina no es un punto, sino un intérvalo que llaman foco *lineal*, y que mientras la retina se halla en él puede percibir con claridad los objetos colocados á diferentes distancias. Por lo demás la experiencia enseña que simultáneamente no percibimos con igual claridad los objetos diferentemente lejanos, porque fijando la vista en los cercanos, se ven confusos los que están léjos, y al revés; de lo que se concluye, que algun movimiento debe tener lugar en el ojo para ver los objetos colocados á diferentes distancias.

859. Denomínase *eje óptico* del ojo la recta que pasa por el centro de la pupila y del cristalino. Esta es la direccion segun la cual vemos los objetos con mas claridad. Convergiendo los ejes ópticos de los dos ojos sobre un mismo punto, se forma un ángulo llamado *ángulo óptico*, que es tanto menor, cuanto mas distante se halla el punto. El ángulo que se forma en el centro del cristalino por dos rectas tiradas á los dos extremos opuestos de un objeto, se dice *ángulo visual*, el cual decrece tambien á medida que el objeto se aleja, determinando así en la retina una imágen que decrece del mismo modo.

860. Por efecto del ángulo visual nos parece disminuir de tamaño una calle de árboles ó casas y cualquiera otro objeto, á medida que se hallan mas léjos del observador; acostumbrados como estamos á los efectos de la perspectiva, si los objetos nos son conocidos, de la disminucion de su tamaño, inferimos la distancia á que se hallan. Con todo en estas apreciaciones estamos sujetos á no pocas ilusiones. Mirando dos pequeños objetos idénticos por medio de dos tubos aplicados uno á cada ojo, de modo que sus ejes se crucen, nos parecerá ver un solo objeto en el punto en que se cruzan dichos ejes; y si uno de los dos objetos es rojo y el otro verde, el objeto nos parecerá blanco.

861. Este último fenómeno da á conocer que si bien no se ve mas que una sola imágen, realmente en cada ojo se forma una distinta, pues los dos colores siendo complementarios determinan un color resultante, lo que no sucederia si no se formase mas que una sola imágen del objeto, pero las impresiones causadas por el objeto en cada ojo, siendo simultáneas en ambos ojos, producen el efecto de una simple sensacion.

862. En vez de los tubos directores del experimento precedente, levántese un dedo ó la mano entre los dos ojos á corta distancia de la cara; fijando la vista en un objeto lejano, el dedo ó la mano se verá doble, y fijándola en el dedo, el objeto lejano se verá duplicado; al mismo tiempo se reconocerá que las imágenes no son idénticas, por que cada ojo ve solamente la parte del dedo ó de la mano que está hácia el respectivo ojo.

863. Existe pues una diferencia notable entre la vision uniocular y la biocular, resultando la percepcion clara del relieve de los cuerpos cercanos ó sea de sus tres dimensiones, de la percepcion simultánea de las dos imágenes. Sobre este principio de la vision biocular Wheatstone inventó un aparato llamado *estereoscopio*, el cual modificado por Brewster consiste en una pequeña cajita, en cuya pared superior hay dos tubos directores de los ejes ópticos de los dos ojos, y en el fondo dos dibujos que cada ojo ve separadamente á través de una lente convergente colocada en cada tubo, del mismo modo que si el objeto se viese á corta distancia, resultando de ahí una percepcion

clarísima del relieve del objeto que representa el dibujo, la cual produce una completa ilusion.

864. La impresion que recibe la retina persiste por un cierto tiempo mas ó menos largo, como lo demuestra la experiencia del disco de Newton (830), en el cual, miéntras gira con velocidad, no se distinguen los sectores de los diferentes colores, sino un solo color resultante de todos ellos. Asi tambien haciendo dar vueltas rápidamente á un carbon incandescente, se ve un círculo luminoso. En este experimento cuando la curva luminosa queda enteramente cerrada calculando el número de vueltas y la magnitud de la circunferencia descrita en un tiempo determinado, se conocerá con alguna aproximacion, cuanto dura la impresion en el ojo. Segun los experimentos de M. Plateau esta es de un medio segundo por término medio, si bien depende de la sensibilidad de la retina, y de la intensidad de la luz. Efecto de la persistencia de la impresion recibida son las notables ilusiones que se producen con varios aparatos, como la *rueda de Faraday*, el *Fenaquisticopio*, y otros análogos, en que ruedas concéntricas ó escéntricas giran en un mismo ó en contrario sentido, con radios de diferentes colores mas ó menos brillantes, etc., en lo cual consiste tambien en gran parte el efecto agradable de los fuegos artificiales.

865. Cuando se mira fijamente un objeto colorado sobre un fondo negro, luego se cansa la vista; entónces dirigiendo los ojos sobre un fondo blanco se ve una imágen de color complementario al del objeto, es decir verde, si el objeto es rojo; morada, si es amarillo; azul, si anaranjado, y al revés; y así de otros colores. Estas apariencias conocidas con el nombre de *imágenes accidentales* persisten algun tiempo, no de un modo continuo, sino apareciendo y desapareciendo, y tal vez reapareciendo con el color primitivo del objeto, aun tapándose los ojos. Los mismos colores complementarios se ven tambien al rededor del objeto que se mira fijamente sobre un fondo blanco, llamándose entónces *aureolas accidentales*. Los colores cercanos producen cada uno su tinta complementaria, y se combinan entre sí. Así poniendo uno al lado de otro dos cuadraditos uno morado y otro anaranjado sobre un fondo negro, y fijando la vista alternativamente ya sobre el uno ya sobre el otro, al levantar los ojos á un fondo blanco se ven tres cuadraditos, los extremos azul y amarillo y el del medio verde. Si los colores primitivos son complementarios, los accidentales por su sobreposicion, producen una imágen negra. No se ha dado aun una explicacion satisfactoria de estos fenómenos.

866. Observando dos círculos de igual diámetro, uno blanco sobre fondo negro, y otro negro sobre fondo blanco, el primero parece mucho mayor que el segundo. Este fenómeno denominado *irradiacion* se manifiesta á todas las distancias, y crece con el brillo de los objetos, siendo su efecto muy sensible en el tamaño aparente de

los astros. Las lentes de divergencia lo aumentan y las de convergencia lo disminuyen. Se atribuye á la propagacion de la impresion sobre la retina mas ó menos allá del contorno de la imágen.

867. El ojo está sujeto á varias afecciones, que impiden, ó alteran la vision. Poniendo sobre una mesa dos pequeños objetos cercanos, y mirando con el ojo derecho el objeto de la izquierda, tambien se ve el otro, pero apartándolo despacio llega un punto en que deja de ser visible, y apartándolo mas, vuelve á verse; lo mismo sucede haciendo el experimento con el ojo izquierdo. Se ha reconocido que ese punto en que no se ve el objeto corresponde á la insercion del nervio óptico en el interior de la retina, denominándolo por este motivo *punctum cæcum.*

868. Constando el ojo á lo menos de tres medios refringentes distintos, si falta la debida conformidad en ellos, podrán formar cada uno su imágen distinta en la retina. Esta afeccion se denomina *diplopia*, si hace ver dos objetos, y *triplopia*, si tres. Algunos individuos padecen otra afeccion llamada *acromatopsia*, por la cual son incapaces de distinguir los colores ó algunos de ellos. Se puede suponer que en tales personas alguna de las partes del ojo haga el efecto de un vidrio colorado, que no deja pasar sino la luz del mismo color. Tal vez se padece en la vista una *paralisis transitoria* de la mitad de la retina en un ojo, ó en ambos de un mismo lado, por la cual solo se ve la mitad del objeto que se mira. Algunas personas ven mejor con escasa luz, y aun de noche que de dia; este defecto se llama *nictalopia.* Muchos otros defectos puede padecer la vista, permanentes ó pasajeros, que pueden corregirse mas ó menos, pero que no pertenece á la física su estudio.

869. Pero sí son del resorte de la física la *micpia* y el *presbitismo;* la primera proviene de la demasiada convexidad de la cornea ó del cristalino, y es muy frecuente en los jóvenes; la segunda proviene de las causas opuestas, y la suelen padecer las personas de edad. Aquella se corrige con lentes de divergencia, y esta con vidrios de convergencia. Para obviar los inconvenientes de la *miopia* y el *presbitismo* se construyen *anteojos* ó *gafas* con vidrios periscópicos (814), que permiten ver los objetos, que rodean el eje óptico, marcando en ellos un número, que indica su distancia focal, el cual se calcula por la fórmula $\frac{1}{d}-\frac{1}{d'}=\frac{1}{f}$ (819) para los présbites, y por la fórmula $\frac{1}{d}-\frac{1}{d'}=-\frac{1}{f}$ (820) para los miopes. En estas fórmulas d representa la distancia de la vista distinta regular ó normal igual á 25 centímetros, d' la distancia de la vista distinta del individuo, y que se hace negativa, porque la imágen debe verse de la parte misma del objeto; y finalmente f representa el número de los anteojos.

CAPÍTULO XI.

DE LA DIFRACCION Ó INTERFERENCIA DE LA LUZ.

870. Llámase *difraccion* de la luz una inflexion, que sufre el rayo luminoso al rasar los bordes de un cuerpo. Para observar este fenómeno se hace penetrar por un agujero muy pequeño en una cámara oscura un rayo solar que se recibe sobre una lente muy convergente. En el cono luminoso se pone una pantalla, que intercepte una parte de la luz, recibiéndose la otra parte en otra pantalla mas distante. Si la luz introducida es simple, lo que se obtiene poniendo delante de la lente un vidrio de un color simple, dentro de la sombra geométrica se ve una luz homogénea, que va decreciendo de intensidad á medida que mas se aparta del límite geométrico de la sombra; lo que manifiesta la inflexion ó sea *difraccion*, que ha sufrido el rayo luminoso.

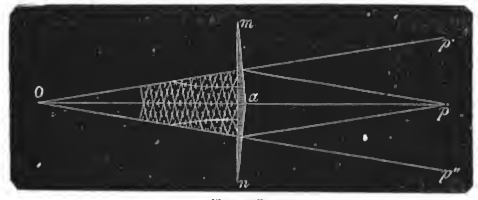
871. Otro fenómeno acompaña al precedente, y es que la parte iluminada fuera de la sombra, en lugar de serlo uniformemente, queda dividida en franjas iluminadas y oscuras, tanto mas débiles, cuanto mas se alejan del límite de la sombra. Todos los colores del espectro solar producen el mismo fenómeno, pero las franjas son tanto mas estrechas, cuanto la luz es menos refrangible. De lo que resulta que con la luz blanca en vez de franjas coloradas y oscuras, se ven franjas irisadas.

872. Si en el cono luminoso se pone un cuerpo muy fino como un cabello ó un alfiler, la luz rasante por ambas partes al difractarse da orígen á franjas luminosas y oscuras, no solo fuera de la sombra geométrica, sino tambien dentro de ella, siendo la mas luminosa, la que corresponde al centro de la sombra.

873. Introduciendo la luz homogénea en la cámara oscura por dos aberturas muy pequeñas y poco distantes entre sí, y recibiendo sobre una pantalla los dos conos luminosos, de modo que se sobrepongan, tambien se observan las franjas alternativamente luminosas y oscuras, que desaparecen cerrando una de las dos aberturas. Fué el primero que hizo este experimento el P. Grimaldi jesuita quien sacó por conclusion que *luz añadida á luz*, *produce tal vez oscuridad*.

874. A las precedentes experiencias M. Fresnel añadió otra ejecutada con dos espejos puestos bajo un ángulo muy obtuso sobre los cuales hacia caer la luz introducida por una pequeña rendija paralela á la interseccion de los espejos, de modo que los rayos reflejados hiciesen un ángulo muy agudo con los mismos espejos: recibiéndose la luz reflejada sobre una pantalla, en esta se observan las franjas lu-

minosas y oscuras, tanto mas intensas, cuanto mas centrales, las cuales desaparecen, interceptando la luz reflejada por uno de los dos espejos; pero si se intercepta la luz de un espejo con una lámina diáfana, en vez de desaparecer, todas las franjas se separan hácia una



(Fig. 154.)

parte, y tanto mas cuanto la lámina es mas gruesa. Este experimento puede hacerse tambien presentando á un punto luminoso *p* muy distante (fig. 154) un prisma *mn* cuyo ángulo diedro *a* sea muy obtuso: desde el punto O se verán dos puntos luminosos *p'* y *p''*, y en el espacio intermedio se observan un gran número de franjas paralelas á la arista *a* del prisma, alternativamente luminosas y oscuras, que desaparecen, cubriendo uno de los dos lados del prisma.

875. Todos estos fenómenos, que resultan de la accion mútua de los rayos luminosos, que se encuentran bajo un ángulo muy agudo, toman el nombre de fenómenos de *interferencia,* y se explican muy satisfactoriamente en el sistema de las ondulaciones. En efecto, animadas las moléculas del eter de un movimiento rápido vibratorio, al propagarse dos sistemas de ondas luminosas de la misma longitud é intensidad, en la misma direccion ó en direcciones poco inclinadas, si un sistema adelanta al otro en un número par de semiondulaciones, el eter en el mismo instante recibirá impulsos iguales, y en el mismo sentido, y así el efecto luminoso será doble de lo que seria con un solo sistema de ondulaciones; pero si uno de los dos sistemas va retrasado un número dispar de semiondulaciones, cada sistema tiende á comunicar al eter velocidades iguales y de signo contrario, y así su efecto quedará destruido, ó se producirá oscuridad. En los experimentos referidos, es evidente que la franja central resulta del concurso simultáneo de los dos sistemas de rayos que tienen la misma longitud, y por consiguiente coinciden en sus ondulaciones; y que á una y á otra parte de esta franja existirá un lugar, en que la diferencia de longitud de los rayos será igual á uno ó á mas pares de semiondulaciones, que constituirán las franjas luminosas inmediatas; pero en los espacios intermedios, las ondulaciones del eter hallándose en mas ó menos oposicion entre sí, darán por resul-

tado los franjas oscuras, como manifiesta la figura 154, en que las líneas contínuas representan las ondas enteras; y las líneas de puntos las semiondas; de modo que las franjas luminosas se hallan en los puntos en que se cruzan entre sí las líneas contínuas; y por el contrario las franjas oscuras en los puntos donde se cruzan las líneas contínuas con las líneas de puntos.

876. Con el principio de la interferencia de la luz se explican tambien los *anillos colorados*, que se observan apretando uno contra otro dos vidrios, uno plano y otro convexo. Si el sistema de los dos vidrios se mira por reflexion, el centro aparece oscuro, y luego siguen anillos alternativamente coloreados y oscuros, pero visto por trasmision, el centro se observa coloreado, y luego los anillos oscuros y coloreados alternativamente. El diámetro de los anillos es tanto menor, cuanto mas refrangible es el color; por lo que con la luz blanca los anillos aparecen irisados. Newton que se ocupó mucho de este fenómeno, halló que el espesor de la capa de aire interceptada entre los dos vidrios crece como la serie 0, 2, 4, 6.... en los anillos oscuros, y en los luminosos como 1, 3, 5, 7.... Segun la teoría de las ondulaciones, los anillos vistos por reflexion se originan por la interferencia de los rayos reflejados en las dos superficies de la lámina de aire, ú otro cuerpo cualquiera interpuesto entre los dos vidrios; y los que se ven por trasmision, resultan de la interferencia de los rayos directos y de los reflejados dos veces en la lámina gaseosa, antes de ser trasmitidos.

877. Análogo al fenómeno de los anillos es la coloracion de las láminas delgadas que aparecen teñidas con colores sumamente vivos, como puede observarse desojando la mica ó la selenita, ó estendiendo una gota de aceite en el agua, y sobre todo en las burbujas de jabon, cuyos matices son tanto mas brillantes y hermosos, cuanto mas fina es su cubierta líquida Estos matices están dispuestos en zonas concéntricas al rededor del vértice, que se pone negro al momento de romperse, y son el resultado de la interferencia entre dos rayos reflejados en ambas superficies. Las burbujas de jabon facilmente se rompen; pero M. Plateau ha hallado, que formándose con un líquido compuesto de dos volúmenes de glycerina y tres volúmenes de jabon de Marsella disuelto en 40 veces su peso de agua destilada, se pueden conservar por varias horas, colocándolas sobre un anillo de hierro ligeramente oxidado con el ácido nítrico y luego mojado en la solucion glycérica. Aplicando por la parte superior otro anillo igual, puede darse á la burbuja la forma de un cilindro, y conservarla en esta nueva disposicion por algun tiempo. Así tambien formando M. Plateau con alambres las aristas de un cubo, ó de otro poliedro geométrico, y mojando el conjunto en el líquido susodicho, determina en el interior del poliedro un sistema de láminas líquidas sumamente finas y adornadas de los mas ricos colores.

878. Varios otros fenómenos de coloracion provienen de la difraccion de la luz, y así se explican con el mismo principio de la interferencia. Hé aquí algunos de estos fenómenos. Mirando la luz de una bujía á través de un vidrio, en que se han grabado con un diamante rayas paralelas muy delgadas y unidas por ej. 20, 50, ó 100 en el intervalo de un milímetro, se observan una multitud de pequeños espectros, en los cuales el morado está dentro y el rojo fuera. El mismo fenómeno se observa por reflexion en una lámina metálica, en que se han trazado surcos paralelos muy finos y unidos. Estas láminas bajo una cierta inclinacion se ven hermoseadas con los mas vivos colores. Si se trazan con un diamante en el vidrio ó en las láminas metálicas líneas en dos direcciones rectangulares, formando una especie de tejido reticular, los puntos donde se cruzan presentan notables fenómenos de coloracion, á los cuales deben referirse los colores de ciertas aves. Mirando la llama de una vela á través de un grupito de cabellos ó de las barbas de una pluma situada cerca del ojo, se ven unos anillos colorados, que imitan las coronas que á veces se observan alrededor del sol y de la luna. Así mismo esparciendo pólvos muy finos sobre una lámina de vidrio humedecida con el hálito, y mirando la luz de una vela, esta se ve rodeada de grandes y hermosos anillos colorados.

CAPÍTULO XII.

DE LA DOBLE REFRACCION.

879. Llámase *doble refraccion* el fenómeno, que presenta el rayo luminoso, de dividirse en dos, ambos refractados, al atravesar cierta clase de cristales: por lo que mirando un objeto á través de estos cristales, se ve doble. Por esta causa estos cristales se llaman *birefringentes*. Tambien los cristales del primer sistema y los sólidos cristalinos como el vidrio, cuando han recibido el temple, ó de otra manera se altera su uniforme elasticidad, como es por ejemplo comprimiéndolos fuertemente en un sentido, y no en otro, adquieren el poder birefringente. Los líquidos y los gases no se observan jamás birefringentes.

880. En los cristales birefringentes hay una ó dos direcciones, segun las cuales no se observa sino la simple refraccion : estas direcciones se llaman *ejes ópticos* ó de *doble refraccion*. En los cristales de un eje óptico, este coincide ordinariamente con el eje de cristalizacion. Se dice *seccion principal* el plano que pasando por el eje óptico, es perpendicular á una cara natural ó artificial del cristal.

881. En los cristales de un eje, uno de los dos rayos refractados sigue las leyes de la refraccion simple, pero no el otro. El primero se

dice *rayo ordinario*, y el otro *extraordinario;* así tambien las imágenes que les corresponden, se dicen *ordinaria* y *extraordinaria*. En algunos cristales el índice de refraccion del rayo extraordinario es mayor, que el del ordinario, en otros es menor; los primeros se llaman *cristales positivos*, y los segundos *negativos:* entre los positivos se cuentan el cuarzo, el zircon, el vidrio, y entre los negativos, el espato de Islandia, la turmalina, el corindon, la esmeralda.

882. Las leyes de la doble refraccion de los cristales de un eje son 1.ª El rayo ordinario sigue siempre las leyes de la refraccion simple. 2.ª En toda seccion perpendicular al eje óptico, el rayo extraordinario las sigue tambien. 3.ª En toda seccion principal el rayo extraordinario sigue solamente la segunda ley, esto es, que los ángulos de incidencia y de refraccion están en un mismo plano. Así girando sobre su eje óptico un romboedro de espato de Islandia puesto sobre una raya negra, las dos imágenes se confunden en una sola, cuando el ojo y la línea están en la seccion principal del cristal, y se separan en cualquiera otra posicion. La imágen ordinaria queda inmoble y gira la extraordinaria.

883. En los cristales de dos ejes, como el azúcar, la mica, el talco, el topacio, y otros muchos, ni el rayo ordinario ni el extraordinario siguen las leyes de la refraccion simple, pero llamando *línea media* y *línea suplementaria*, las líneas que dividen por mitad el ángulo de los dos ejes ópticos y su suplemento, en cualquiera seccion perpendicular á la línea media, uno de los dos rayos sigue las leyes ordinarias de la refraccion simple; el otro rayo tambien las sigue en toda seccion perpendicular á la línea suplementaria.

CAPÍTULO XIII.

DE LA POLARIZACION RECTILÍNEA DE LA LUZ.

884. Se ha dado el nombre de *polarizacion* de la luz á cierta modificacion que sufre, en virtud de la cual una vez reflejada ó refractada es incapaz de reflejarse ó refractarse en ciertas direcciones. Esta propiedad descubierta por Malus en 1810, se llamó *polarizacion*, cuya denominacion fué tomada del sistema de Newton, segun el cual las moléculas luminosas se suponen dotadas de dos polos de propiedades diferentes, como los imanes, cuyos ejes, estando dirigidos en todos sentidos en el rayo de luz natural, por efecto de la reflexion ó refraccion, toman todos una direccion paralela.

885. La luz se polariza de muchos modos. 1.º *Por reflexion*, cayendo un rayo luminoso sobre un cuerpo bajo un ángulo determinado, este rayo queda polarizado. El ángulo bajo que se polariza llamado

ángulo de polarizacion por reflexion, es diferente en las diferentes sustancias: en el vidrio es de 33°25′, en el cuarzo de 32°28′, en el diamante de 22° y en el agua de 37°15′. El rayo polarizado por reflexion no puede de nuevo reflejarse en el plano perpendicular al plano del ángulo de polarizacion bajo la misma incidencia; pero se refleja tanto mas, cuanto mas se aleja de dicho plano, y bajo otras incidencias.

886. En segundo lugar se polariza la luz por *refraccion simple.* La luz incidente sobre un vidrio de caras paralelas es reflejada en parte; la otra parte atraviesa la lámina y al mismo tiempo queda polarizada en un plano perpendicular al plano de refraccion. Así mirando una lámina polarizante parece muy diáfana en el plano de su polarizacion y opaca en el plano perpendicular. Se ha observado que los rayos polarizados reflejado y refractado tienen igual cantidad de luz polarizada; de modo que la luz ordinaria puede considerarse como formada de dos rayos de luz iguales y polarizados en ángulo recto. Una sola lámina de vidrio no polariza completamente la luz, pero con una serie de láminas sobrepuestas, que toma el nombre de *pila de vidrios,* se obtiene un efecto mas completo.

887. En tercer lugar se polariza la luz por doble *refraccion.* Cuando la luz atraviesa un cristal birefringente, los dos rayos emergentes son ambos polarizados enteramente; el rayo ordinario lo es en el plano de la seccion principal que corresponde al plano de polarizacion por reflexion; y el rayo extraordinario lo es en el plano perpendicular á dicha seccion.

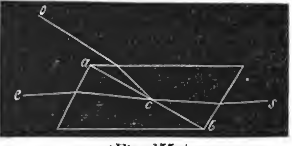
888. Varios aparatos llamados *poraliscopios* se han imaginado para reconocer, si un rayo de luz es polarizado, y en qué plano. El primero es un espejo ennegrecido por detrás y aplicado á la extremidad de un tubo bajo un ángulo de 33° 25′; si la luz, que cae sobre el espejo en la direccion del eje del tubo es polarizada, se refleja con diferente intensidad, girando el espejo al rededor del mismo eje, teniendo su máximo de brillo en el plano de su polarizacion, y el mínimo en un plano perpendicular.

889. Una pilita de vidrios colocada en la extremidad del tubo bajo el mismo ángulo de 33° 25, tambien manifiesta si la luz es polarizada, pues en tal caso, la que se trasmite, tiene distinta intensidad, girando la pila al rededor del eje del tubo, cuyo máximo corresponde á un plano perpendicular al plano de polarizacion por reflexion.

890. Un prisma birefringente de *espato* de Islandia ajustado á la extremidad del tubo, tampoco deja pasar con la misma intensidad los dos rayos, si la luz incidente es polarizada. En tal caso el rayo ordinario tiene la claridad máxima, cuando el plano de polarizacion por reflexion del rayo incidente es paralelo á la seccion principal del

prisma y el rayo extraordinario la tiene en el plano perpendicular, no viéndose en estas dos posiciones mas que una sola imágen.

891. El prisma de *Nicol* es un polarizador de *espato de Islandia* que despues de haber sido cortado por el plano de las diagonales menores (fig. 155) *ab*, se han pegado las dos partes con bálsamo de Canadá, con cuya operacion el rayo ordinario *co* sufre la reflexion total, y así no se ve sino una sola imágen, que es la del rayo extraordinario *ce*.



(Fig. 155.)

892. Finalmente, dando vueltas delante del ojo á una turmalina amarilla, cortada paralelamente al eje de cristalizacion, la luz polarizada no pasa por ella con igual intensidad, observándose la máxima claridad, cuando el eje de cristalizacion es perpendicular al plano de polarizacion por reflexion; y la mínima, cuando le es paralelo. Esta sustancia aunque goce de la doble refraccion, si es suficientemente gruesa, no deja pasar sino el rayo extraordinario.

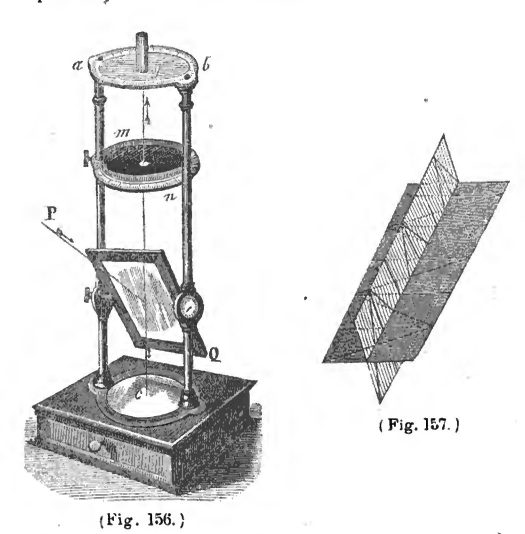
893. Con cualquiera de estos polariscopios se reconoce, 1.° que la luz directa del sol no es polarizada. 2.° Que la luz de la atmósfera lo es tanto mas cuanto mas distante se halla del sol. 3.° Que la luz emitida por sustancias gaseosas incandescentes tampoco es polarizada.

894. Ordinariamente para las experiencias de la polarizacion de la luz se hace uso del aparato de Noremberg (fig. 156). Dos columnitas metálicas sostienen un círculo horizontal graduado *ab,* en cuyo centro hay un tubito móvil que lleva uno de los polariscopios descritos. Las mismas columnas sostienen en su parte intermedia una lámina de cristal PQ, que sirve para polarizar un rayo de luz, recibiéndolo bajo la incidencia de 33° 25′, que lo refleja á un espejo *c* horizontal, del cual otra vez es reflejado en la direccion del eje del tubo superior.

895. Los fenómenos de la polarizacion de la luz se explican en el sistema de las ondulaciones, suponiendo que las moléculas del eter ejecutan sus vibraciones trasversales en dos planos entre sí rectangulares (fig. 157), cuyo resultado da origen á la luz natural ó sea no polarizada; pero si por medio de un polarizador el sistema vibratorio en un plano se separa del sistema vibratorio del otro, la luz que produce cada sistema es polarizada, no sosteniéndose sino en el plano, en que el eter continua vibrando.

696. Se ha observado que dos rayos polarizados en un mismo plano interfieren entre sí, como los rayos no polarizados; pero si lo están en planos entre sí perpendiculares no pueden interferir. Así las franjas que se observan, haciendo entrar en un cuarto oscuro los ha-

ces de luz por dos rendijas paralelas, subsisten aun cuando pase la luz por dos pilitas de laminas muy delgadas de mica inclinadas de modo, que la luz se polarize completamente, con tal que las dos pilas sean entre sí paralelas; pero á medida que se apartan del paralelismo, las franjas se debilitan hasta desaparecer enteramente, cuando las láminas estan inclinadas en planos perpendiculares entre sí, quedando entonces el espacio uniformemente iluminado.



(Fig. 156.)

(Fig. 157.)

897. Como los dos rayos emergentes de un prisma bi-refringente son polarizados en planos retangulares, por cuya causa no pueden interferir, observando con este prisma un haz luminoso polarizado á través de una pequeña abertura circular, de modo que parte de las dos imágenes circulares se sobreponga, esta parte se verá siempre iluminada con un brillo constante y uniforme, girando el prisma; pero en los segmentos laterales á medida que la luz aumente en uno, disminuye en el otro, cuya suma es la parte intermedia, en que se sobreponen, por lo que dichos segmentos solo tienen una intensidad igual entre sí en la posicion intermedia, ó sea cuando el plano de polarizacion primitivo forma un ángulo de 45° con el plano de la seccion principal.

898. El señor Malus expresó estos efectos con las dos fórmulas siguientes conocidas con el nombre de *ley de Malus* $r=t.\text{sen.}^2 a$ $r'=t.\cos.^2 a$, en las que t representa la intensidad del rayo luminoso incidente, r y r' la de los dos rayos polarizados en ángulo recto, y a el ángulo que la seccion principal del prisma hace con el plano primitivo de polarizacion. Segun estas fórmulas resulta $r+r'=t(\text{sen.}^2 a+\cos.^2 a)=t$; si $a=45^0$ siendo entónces $\cos.a=\text{sen}.a$, será $r=r'=\frac{1}{2}t$: cuando $a'=o$, resulta $r=o$, $r'=t$; pero si $a=90^0$, queda $r=t$, $r'=o$: resultados enteramente conformes con la experiencia.

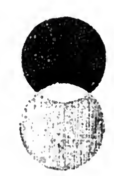
CAPÍTULO XIV.

DE LA POLARIZACION CROMÁTICA DE LA LUZ.

899. Cuando la luz polarizada atraviesa láminas cristalinas de sustancias bi-refringentes, cortadas paralela ó perpendicularmente al eje de cristalizacion, produce en estas láminas unos colores muy vivos, que constituye los fenómenos de la *polarizacion cromática* de la luz, los cuales se observan muy bien con el aparato de Noremberg, colocando dichas láminas entre el polarizador PQ y el polariscopio aplicado al tubito superior, sobre un plano *mn* (fig. 156).

900. En las láminas cortadas paralelamente al eje los colores son invariables para una misma lámina cualquiera que sea su posicion, y solo varia su intensidad, siendo mínima cuando el eje de cristalizacion es paralelo ó perpendicular al plano de polarizacion del polariscopio ó del polarizador; pero los colores varian, variando el espesor de la lámina, el cual debe ser siempre muy pequeño, y así varian tambien, inclinando mas ó menos la lámina, porque el rayo polarizado atraviesa un distinto espesor.

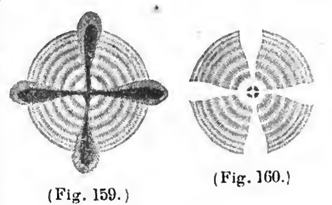
901. Puesta la lámina en su máximo de brillo, ó sea cuando un eje hace un ángulo de 45° con el plano primitivo de polarizacion, y con el del polariscopio, si este es un prisma bi-refringente, ambas imágenes se ven coloreadas, cambiándose mutuamente los colores á cada cuarto de revolucion del prisma; pero siendo siempre exactamente complementarios, porque dan el color blanco, si las dos imágenes se sobreponen (fig. 158). Si en vez del prisma bi-refringente se pone otro polariscopio, los fenómenos son los mismos, pero no se ve sino una imágen coloreada.



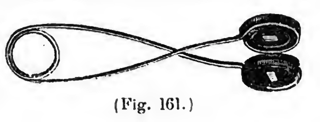
(fig. 158.)

902. En estos fenómenos la coloracion distinta de las dos imágenes proviene de la velocidad diferente de las ondas en los dos rayos ordinario y extraordinario, debida á la diferente elasticidad, que tiene el eter en el interior de las sustancias bi-refringentes segun la direccion de los ejes del cristal: y como dichos rayos son polarizados en planos rectangulares no pudiendo interferir entre sí producen la luz blanca en la parte, donde sus efectos se sobreponen.

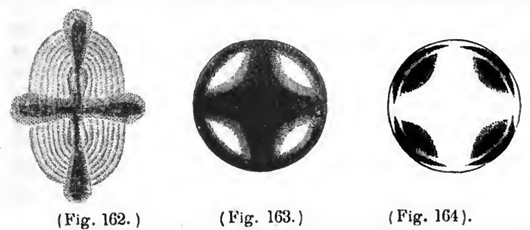
903. En las láminas cortadas perpendicularmente al eje, con la simple luz se observa una serie de anillos concéntricos alternativamente coloreados y oscuros cortados por una cruz oscura (fig. 159), cuando el plano de polarizacion primitivo es perpendicular al del polariscopio; pero si los dos planos son paralelos, la cruz es blanca, y los anillos cambian mútuamente de posicion (fig. 160). Y como el diámetro de estos anillos crece con la refrangibilidad del color, con la luz blanca los anillos son irisados, por sobreponerse en parte los distintos colores, faltando así los anillos oscuros. La posicion de la lámina no ejerce influencia alguna sobre los anillos.


(Fig. 159.) (Fig. 160.)

904. Fácilmente se pueden observar estos fenómenos con el aparato de Noremberg poniendo por polariscopio el prisma de Nicol, pero mas fácilmente se observan, interponiendo una lámina de espato de Islandia entre dos turmalinas montadas en forma de pinzas (fig. 161). Si los ejes de las turmalinas están cruzados, se ve la cruz negra; y si son paralelos, la blanca. Aplicando los polarizadores convenientes al microscopio solar ó al foto-eléctrico, se proyectan todos los fenómenos de coloracion sobre una pantalla, lográndose de este modo hacerlos visibles á un gran número de espectadores.


(Fig. 161.)

905. En estos fenómenos el haz luminoso despues de haber pasado por la lámina bi-refringente, forma un cono cuyo eje es el de cristalizacion de la lámina; pero como los rayos á medida que crece su divergencia al rededor del eje encuentran un mayor espesor, por razon de su oblicuidad, resulta una diferencia de velocidad de los dos rayos ordinario y extraordinario, que da orígen á la formacion de los colores, y á su disposicion circular al rededor del eje. La cruz negra resulta, de que la luz polarizada en el plano primitivo, queda absorbida en un plano perpendicular al del polariscopio.


(Fig. 162.) (Fig. 163.) (Fig. 164).

906. Todos los cristales de un eje presentan los anillos concéntricos cortados por la cruz, á escepcion del cuarzo, en que no se ven sino los anillos. Los cristales de dos ejes tambien ofrecen los anillos, los cuales en vez de un centro tienen dos, pasando un brazo de la cruz por los dos centros, y el otro por el punto intermedio (fig. 162.) El vidrio comun y los cristales del primer sistema no gozando de la doble refraccion, tampoco manifiestan colores; pero si por una causa cualquiera se modifica su uniforme elasticidad, luego se obtienen los fenómenos de coloracion enteramente análogos á los de las láminas bi-refringentes. Así el vidrio fuertemente comprimido en un sentido con un tornillo de presion muestra una figura análoga á la 162, y en una lámina circular de vidrio templado se ven las figuras 163 y 164.

CAPÍTULO XV.

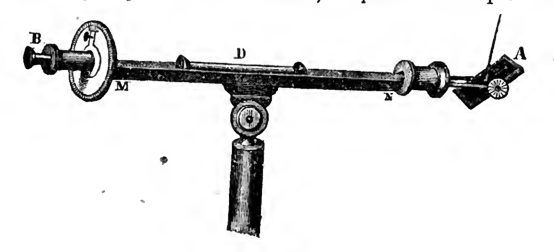
DE LA POLARIZACION ROTATORIA DE LA LUZ.

907. Cuando el rayo polarizado atraviesa una lamina bi-refringente cortada perpendicularmente al eje, el rayo continua polarizado en el mismo plauo que antes de pasar por ella, pero el cuarzo entre los solidos y muchos líquidos en que se han disuelto sustancias cristalinas hacen girar el plano de polarizacion de un cierto número de grados; algunos cuerpos lo hacen girar hácia la derecha, como la solucion de azúcar, otros á la izquierda, como la esencia de trementina, y la goma arábiga; los primeros se llaman *dextrogiros* y los segundos *levogiros*.

908. Para observar este fenómeno, que constituye la *polarizacion rotatoria* de la luz, se coloca el prisma de Nicol en el tubito superior del aparato de Noremberg, de modo que apague completamente la luz reflejada por el espejo polarizador: interponiendo una lámina de cuarzo, la luz reaparèce inmediatamente, cualquiera que sea la posicion de la lámina, la cual con la luz simple tiene un color muy vivo, cuya naturaleza depende de su espesor; pero girando el prisma el color va disminuyendo hasta apagarse completamente en una determinada posicion; luego la luz antes polarizada, lo es aun despues de haber atravesado la lámina bi-refringente; pero su plano de polarizacion ha girado. Cada color hace girar el plano de un distinto número de grados, siendo tanto mayor, cuanto es mas refrangible: así con una lámina de cuarzo de un milímetro de espesor, el prisma debe girar 18° para apagar el color rojo, y unos 44° para destruir el morado; de lo que se sigue, que con la luz natural, la lámina presentará círculos irisados, cuyos colores irán cambiándose, girando el prisma, porque cada uno se apaga en distinto plano.

909. Como el poder rotatorio de los líquidos es muy inferior al del cuarzo, para poderlo observar, es necesario servirse de columnas liquidas de 20 y mas centímetros de longitud. Al efecto se encierra el líquido en un tubo D (fig. 165) terminado por dos vidrios planos

y paralelos, y se coloca en un sosten MN entre el polarizador A, y el prisma de Nicol B, de modo que todas las piezas tengan un comun eje. Por este medio se reconoce que el agua, el alcohol y el eter, son *inactivos* esto es, no hacen girar el plano de polarizacion; pero si en el tubo hay por ej. solucion de azúcar, reaparece la luz que habia



(Fig. 165.)

apagado el prisma; y para destruirla, debe girar un cierto número de grados, que es proporcional á la longitud del tubo, y á la concentracion de la solucion. Así tambien se reconocen diferencias en los cuerpos, cuya análisis química no presenta ninguna; por ejemplo el azúcar de caña hace girar el plano hácia la derecha, y el de uva á la izquierda, y no obstante la composicion química de estas dos sustancias es idéntica.

910. Algunos sólidos, como el vidrio, el flint, el borosilicato de plomo, y otros, que no manifiestan señales de polarizacion rotatoria, la adquieren bajo la accion de corrientes eléctricas. Para observarlo se disponen dos electro-imanes rectilíneos (1098), en los cuales el cilindro de hierro dulce está agujereado en toda la longitud del eje, de modo que cuando pasa la corriente, sus polos contrarios B y C estén muy cerca el uno del otro. A cada uno de los otros dos polos se adapta un prisma de Nicol, girando uno de ellos hasta que se apague la luz de una lámpara, que pasa por el otro; entónces interponiendo entre los polos A, B una lámina de las referidas sustancias, aparece inmediatamente la luz, cuya intensidad pasa por diferentes grados hasta apagarse completamente, girando uno de los dos prismas. El sentido de la rotacion depende del de la corriente, pero el poder rotatorio depende de la intensidad de la misma corriente, y del espesor de la lámina.

LIBRO NONO.

DEL MAGNETISMO Y ELECTRICIDAD.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LOS IMANES Y DE SUS PROPIEDADES.

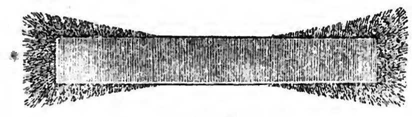
911. Llámanse *imanes* ciertos cuerpos dotados de la propiedad de atraer el hierro y algunos otros metales; y la causa de este fenómeno se dice *magnetismo*. Esta fuerza se ejerce no solo cuando los cuerpos están en contacto, sino tambien á cierta distancia, la cual es tanto mayor, cuanto la fuerza magnética es mas intensa. Se ejerce tambien á través de otros cuerpos, como el carton, vidrio, etc.

912. Divídense los imanes en naturales y artificiales. El iman natural es un óxido de hierro llamado *óxido magnético* de la fórmula Fe^3O^4. Los imanes artificiales son barritas ó agujas de acero, á las que se les comunica la virtud magnética por los procedimientos, que luego se darán á conocer. El hierro es el cuerpo mas magnético que se conoce, pero ordinariamente no muestra esta propiedad, sino está bajo la influencia de otro iman. Gozan tambien de la misma propiedad el nikel, el cobalto, y el cromo, pero en un grado menor. El hierro y el acero, que no poseen esta propiedad, la adquieren bajo la influencia de un iman, pero con la diferencia, que el acero la conserva constantemente, y el hierro tan solo mientras está bajo la influencia del iman. La fuerza, que impide que el acero una vez magnetizado pierda esta propiedad, se llama *fuerza coercitiva*, la cual es tanto mayor, cuanto su temple es mas fuerte. El hierro martillado, torcido ú oxidado tiene tambien alguna fuerza coercitiva, pero siempre menor, que el acero. El hierro, que carece absolutamente de fuerza coercitiva, se llama *hierro dulce*.

913. La fuerza magnética en un iman natural ó artificial tiene su mayor intensidad en dos puntos opuestos, que se reconocen (fig. 166), echando el iman en la limadura de hierro, la cual se ve aglomerarse en dichos puntos, que toman el nombre de *polos;* la línea intermedia

que los divide se llama *línea neutra*. Con todo la fuerza magnética existe en todos los puntos del iman, porque cortado este en cuantas partes se quiera, todas se ven imantadas, y con sus dos polos.

914. Si se acerca el polo de un iman sucesivamente á los polos de otro iman suspendido libremente por su centro, se observa, que atrae



(Fig. 166.)

al uno, y rechaza al otro; lo contrario sucede presentando el otro polo á los polos del iman libre, por lo que los dos polos de un iman poseen propiedades opuestas: el uno se llama *polo boreal*, y el otro *polo austral*. Ahora bien, acercando sucesivamente los polos de los dos imanes que mútuamente se rechazan, á un tercer iman libre, se ve que ambos lo atraen por un polo, y lo rechazan por otro; luego los polos que se repelen entre sí, produciendo el mismo efecto sobre otro polo cualquiera, se llamarán del *mismo nombre*, y por consiguiente serán de *diferente nombre* los que producen contrarios efectos. Por lo que se puede establecer, *que los polos del mismo nombre se rechazan, y los de diferente nombre se atraen*.

915. Las repulsiones y atracciones, que produce un iman fijo sobre los polos de otro iman libre, sirven para distinguir los cuerpos simplemente magnéticos de los imanes, pues en aquellos no se producen sino atracciones por cualquier parte que sea: es decir, que las sustancias simplemente magnéticas carecen de polos.

916. Aunque el hierro, el nikel, el cobalto, y el cromo, y casi todos sus compuestos son los únicos cuerpos, que se cuentan entre las sustancias magnéticas, no obstante casi en todos los demás aparece tambien la virtud magnética, pero en un grado muy inferior. Para observarla Lebaillif imaginó un pequeño aparato muy sensible que llamó *sideroscopio*, el cual se compone de una pajuela de 2,03 centímetros suspendida de un hilo de seda sin torsion. En uno de sus extremos se introduce una pequeña aguja fuertemente imantada, y en el otro se pone un contrapeso. Acercando sucesivamente diferentes cuerpos á uno de los polos de la aguja, esta se ve atraida por unos, y rechazada por otros. Los que la atraen, se han llamado *magnéticos*, y los que la rechazan *diamagnéticos*: entre los *diamagnéticos* se cuentan, el bismuto, el azufre, el antimonio, la cera, el agua, etc. El cobre algunas veces parece magnético, y otras diamagnético. Los imanes fuertes ejercen una accion repulsiva sobre las llamas.

917. Haciendo oscilar una aguja magnética sobre un disco de co-

bre ú otro metal, despues de pocas oscilaciones la aguja queda en reposo. El cobre es el que obra con mas energía. Al revés, haciendo girar el disco debajo de la aguja en reposo, esta se pone en movimiento, y comienza á oscilar, y aun á girar sobre su apoyo con tanta mayor velocidad, cuanto mayor es la del disco, y en el mismo sentido que el disco. Los metales y principalmente el cobre, obran con grande energía; las demás sustancias como vidrio, madera, líquidos, etc., no producen efecto sensible. La intensidad de la fuerza disminuye aumentando la distancia de la superficie en movimiento. El disco pierde una gran parte de su fuerza, cuando está interrumpido en el sentido de sus radios, pero la adquiere otra vez, soldando las interrupciones.

918. La fuerza magnética, que se desarrolla en este experimento, es paralela á la superficie del disco, y perpendicular á su radio. Existen tambien otras dos fuerzas, una perpendicular á la superficie del disco, y otra dirigida segun sus radios. Para observar la primera de estas dos fuerzas, se suspende una aguja imantada verticalmente al brazo de una balanza, y se equilibra con un contrapeso; haciendo luego girar un disco de cobre, el equilibrio se rompe inclinándose la balanza hácia el contrapeso; lo que manifiesta la existencia de una fuerza repulsiva perpendicular á la superficie. La última se observa, acercando al disco la extremidad de la aguja magnética, que puede girar en un plano normal al disco. Si la extremidad de la aguja cae fuera del disco, se observa constantemente repulsion; estando encima la repulsion disminuye desde la circunferencia hasta la mitad del radio en que es nula; desde este punto se convierte en atraccion hasta el centro en que otra vez es nula.

CAPÍTULO II.

DEL MAGNETISMO TERRESTRE.

919. Cuando una aguja magnética está suficientemente libre, se dirige siempre por uno de sus polos hácia el Norte de la tierra, y removida de esta posicion vuelve á ella. La fuerza, que solicita al iman á tomar esta posicion, es una fuerza magnética, porque no obra sobre sustancias no magnéticas; y además obra como un iman, porque siempre es el mismo polo, el que se dirige hácia el Norte de la tierra. Este fenómeno se observa en todos los lugares del globo. Por lo que la tierra puede considerarse como un iman, cuyo eje está dirigido en el sentido del eje de rotacion de la misma tierra, y cuya línea media está cerca del Ecuador. Los polos magnéticos del globo toman el nombre de sus polos geográficos, llamándose *polo boreal* el

que está hácia el Norte, y *polo austral* el opuesto. Y como los imanes se atraen por sus polos opuestos, el polo norte de una aguja será el que se dirige hácia el Sur, y el austral el que se dirige hácia el Norte de la tierra.

920. La accion de la tierra sobre un iman es una fuerza simplemente directriz, porque puesta una barrita imantada sobre un corcho flotante, el corcho no avanza ni hácia el Norte ni hácia el Sur, sino que toma simplemente una direccion de Norte á Sur.

921. Esta direccion, que toma la aguja magnética, no coincide exactamente con el meridiano terrestre, sino que hace un ángulo llamado *declinacion*, que toma el nombre de *oriental ú occidental*, segun que el polo austral de la aguja declina al oriente ó al occidente. Esta declinacion es diferente en los diferentes lugares de la tierra, y en algunos es cero. El plano que pasa por los polos de la aguja, y por el centro de la tierra, se dice *meridiano magnético.*

922. La brújula de declinacion consiste en una cajita, en cuyo centro se eleva un pequeño sosten terminado en punta, sobre el cual gira horizontalmente una aguja magnética. Un círculo graduado, que por uno de sus diámetros se hace coincidir con el meridiano astronómico da á conocer el número de grados, de que declina la aguja al Este ó al Oeste de dicho meridiano.

923. La brújula sirve sobre todo para dirigir el rumbo de los buques, y en este caso toma el nombre de *brújula marina;* y á fin de que pueda conservar siempre una posicion horizontal, no obstante el movimiento del buque, se halla la caja sostenida por dos anillos concéntricos móviles, el uno al rededor de un eje, y el otro al rededor de otro eje perpendicular al primero. Como la aguja tiene diferente declinacion en los diferentes puntos del globo, es necesario, que los navegantes corrijan de contínuo las observaciones, que hacen con la aguja.

924. Cuando la aguja magnética puede libremente moverse en un plano vertical al rededor de un eje horizontal, se observa que aun cuando el centro de gravedad coincide con el eje de suspension, no obstante la aguja se inclina hácia la tierra por la extremidad, que se halla mas cercana á su polo geográfico. Así en el hemisferio boreal se inclina el polo austral de la aguja, y el opuesto en el hemisferio austral. Se llama *inclinacion* el ángulo que la aguja colocada en el meridiano magnético forma con el horizonte. La inclinacion varia en los difereutes lugares, de modo que en algunos puntos cerca del polo boreal, es igual á 90°; desde allí va decreciendo hácia el Ecuador. La curva que pasa por todos los puntos en que la inclinacion es cero, se llama *ecuador magnético, y polos magnéticos* se dicen los puntos en que es igual á 90°. El plano del ecuador magnético corta al ecuador geográfico, pero parece, que los puntos en que se cortan ambos planos,

no son constantes. Los polos magnéticos son dos, el boreal se halla á 70°10′ de la latitud N. y 100°40′ de longitud O. de Paris; el polo austreal se halla á 75° latitud S, y á 136° de longitud.

925. En muchas circunstancias es necesario tener una aguja magnética, que no esté bajo la influencia de la tierra. Para esto se toman dos agujas magnéticas de igual fuerza, y luego se fijan en un mismo plano en una posicion paralela, de modo que sus polos contrarios estén el uno en frente del otro. El sistema se suspende de un hilo de seda, y quedan las agujas fuera de la accion de la tierra; porque se destruyen las acciones contrarias del globo sobre los polos contrarios y de igual fuerza de las agujas, y por este motivo se llama esta combinacion de agujas *sistema astático*.

CAPÍTULO III.

MÉTODOS PARA DESARROLLAR LA VIRTUD MAGNÉTICA.

926. Los imanes artificiales, como se ha indicado n.° 912 son barritas de acero, á las que se ha comunicado la virtud magnética, ó por medio de poderosos imanes, ó por el magnetismo terrestre, ó por la electricidad. Esta última causa de imantacion se dará á conocer en el capítulo 18. La potencia magnética comunicada á un acero reconoce un limite, que depende del temple del acero, y de la fuerza del iman empleado. Cuando se llega á este limite se dice que la barra está imantada *á saturacion*.

927. Tres son los métodos empleados para imantar con imanes: el primero consiste en hacer correr el polo de un iman desde uno á otro cabo de la barra, que se quiere imantar, y en repetir muchas veces las fricciones siempre en el mismo sentido. La última extremidad, que toca el iman móvil, presenta un polo contrario á aquel, con el cual se roza. El segundo método debido á Knight consiste en colocar los dos polos contrarios de dos imanes de igual fuerza en medio de la barra, que se ha de imantar: y luego se hacen correr simultáneamente cada uno hácia una extremidad de la barra, repitiendo muchas veces las fricciones siempre en el mismo sentido desde el punto medio de la barra. El tercer método iuventado por Mitchell consiste en colocar los dos polos contrarios de dos imanes en medio de la barra que debe mantarse, y teniéndolos fijos y algo separados entre sí por medio de un pequeño trocito de madera, se hacen correr juntamente hácia una extremidad de la barra, y de esta á la otra extremidad, y asi muchas veces de modo que cada extremidad reciba igual número de fricciones. En estos dos últimos métodos, los extremos de la barra, que se quiere imantar, se colocan sobre los polos contrarios de dos

imanes fijos, de modo que su accion concurra con la de los imanes móvibles. Con estas operaciones los imanes nada pierden de su fuerza.

928. Colocando simplemente una barrita de hierro dulce en el plano del meridiano magnético paralelamente á la inclinacion, que tiene la aguja magnética, se observa imantada dirigiéndose su polo austral hácia el norte, y el boreal hácia el sur. La imantacion producida por la influencia del magnetismo terrestre es inestable, porque invertiendo la posicion de la barra, al instante se invierten sus polos; lo que manifiesta, que el hierro dulce carece de fuerza coercitiva. No obstante si mientras está bajo la influencia de la tierra, se somete á una fuerte torsion, ó á la accion del martillo, adquiere una débil fuerza coercitiva, que conserva por un poco de tiempo. Si en vez de la barrita de hierro se echa mano de una barrita de acero, aunque tarda mas en imantarse por la accion de la tierra, conserva por mas tiempo la fuerza recibida.

929. A la influencia prolongada del magnetismo terrestre, se debe la formacion de los imanes naturales; y la imantacion, que tal vez se observa en los objetos de acero ó de hierro, el cual muchas veces no siendo puro, tiene alguna fuerza coercitiva.

930. Para que los dos polos de los imanes puedan ejercer su accion simultáneamente sobre un hierro dulce, que toma el nombre de *áncora*, se les suele dar la forma de una herradura. Muchas veces se reunen varias barras imantadas por los polos del mismo nombre, y así se forma un haz ó sistema de barras magnéticas, que se sujeta por medio de tornillos. La fuerza de un haz magnético no es igual á la suma de las fuerzas de cada barra, á causa de las acciones repulsivas de los polos vecinos; por lo que para aumentar á lo menos en parte su efecto, se hace que las mas centrales tengan uno ó dos centímetros mas de longitud, que las inmediatas.

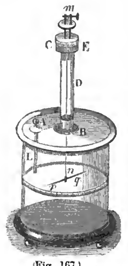
931. Llámanse *armaduras* las piezas de hierro dulce, que se ponen en contacto con los polos del iman, para conservar y aun aumentar su poder magnético por efecto de su influencia. Para armar un iman natural, primero se reconocen sus polos por medio de la limadura de hierro; luego se le aplican dos placas de hierro dulce, terminadas en un recaton maciso las cuales se imantan por influencia. Una vez imantadas reaccionan sobre el fluido magnético del iman, aumentando de este modo su poder magnético. Dichas placas se sujetan al iman con algunas láminas de cobre. Así armados los imanes pueden sostener progresivamente pesos mayores hasta un cierto punto, del cual si se pasa, es necesario volverlos á cargar con poco peso. Las agujas móvibles no necesitan armadura supliendo su efecto los polos magnéticos del globo.

CAPÍTULO IV.

LEY DE LAS ATRACCIONES Y REPULSIONES MAGNÉTICAS.

932. La ley de las atracciones y repulsiones magnéticas comprobada por Coulomb es la siguiente. *La accion magnética se ejerce en razon inversa del cuadrado de la distancia.* Dos métodos se pueden emplear para reconocer esta ley; que son el de la balanza de torsion, y el de las oscilaciones.

933. El aparato llamado *balanza de torsion* (fig. 167) consiste en una caja cilíndrica de vidrio, cubierta con un cristal, que tiene dos aberturas circulares, una A cerca del borde, por donde se introduce un iman AL, otra B en el centro, á la cual se adapta un tubo móvil D. Este tubo en su parte superior lleva un micrómetro CE ó sea un sistema de dos piezas circulares, la inferior E fija lleva una señal para indicar cuantos grados ha girado la superior C, cuyo contorno está dividido en 360°. En el centro de esta pieza superior hay un botoncito móvil en el que se arrolla un hilo de plata muy fino *mn* que atraviesa toda la longitud del tubo, y sostiene una aguja imantada *pq* poco mas ó menos en la mitad de la altura del vaso. Finalmente en la parte exterior del vaso y á la altura de la aguja hay pegado un círculo de papel dividido en 360°.



(Fig. 167)

934. Cuando se quiere hacer un experimento se comienza por colocar el centro y el cero del círculo inferior en el plano del meridiano magnético; luego para que el hilo no tenga la menor torsion, se suspende de él una barrita de una sustancia no magnética, y se da vueltas al tubo basta que dicha barrita se pare en el cero del cuadrante; entónces se quita la barrita, y se pone la aguja magnética, que se encontrará precisamente en el meridiano magnético sin producir torsion alguna en el hilo. Para conocer en primer lugar la accion de la tierra sobre la aguja, se hace girar la pieza superior del micrómetro, y con ella el hilo basta desviar la aguja magnética de un grado en el mismo sentido: el número de grados que habrá corrido el micrómetro menos uno representará la torsion del hilo, cuya fuerza será igual y contraria á la accion de la tierra. Sea N este número por un grado corrido por la aguja; por 2 grados será 2N; por 3 grados 3N; etc., porque la fuerza de torsion es proporcional al ángulo de torsion.

935. Determinada la accion de la tierra, por la abertura lateral se introduce un iman, procurando que los polos del mismo nombre del iman y de la aguja estén uno en frente del otro. El polo de la aguja móvil es rechazado: sea N' el número de grados, de que se desvia; la fuerza que hará la aguja para volver al meridiano magnético estará representada por $N'+N'N$, pues N' depende de la torsion del hilo, y N'N de la accion de la tierra; luego la accion repulsiva de los polos del mismo nombre será tambien $N'+N'N$. En seguida se hace girar el micrómetro basta que la desviacion N' se reduzca á la mitad, y suponiendo que sea n el número de grados que habrá corrido el micrómetro, la torsion del hilo estará representada por $n+\frac{N'}{2}$, y por consiguiente la fuerza, que tiende á llevar la aguja al meridiano será $\left(n+\frac{N'}{2}\right)+N\times\frac{N'}{2}$; luego la fuerza repulsiva, que se opone á esta

vuelta, será tambien igual á esta cantidad. Haciendo la sustitucion de los números hallados, se ve que $\left(n+\frac{N'}{2}\right)+N\times\frac{N'}{2}$ es cuatro veces mayor, que $N'+NN'$: es decir la fuerza repulsiva está en razon inversa del cuadrado de las distancias.

936. El método de las oscilaciones se funda en el siguiente principio. Oscilando una aguja magnética por la accion de un iman al rededor de una nueva posicion, se podrá aplicar á estas oscilaciones la fórmula del péndulo, en la que á la accion de la gravedad se sustituirá la fuerza magnética, la cual por esta razon se tomará proporcional al cuadrado del número de oscilaciones, que la aguja hará en un determinado tiempo.

937. A este efecto se hará oscilar un iman bajo la influencia de la tierra, y luego bajo la influencia de la tierra y de un iman colocado en dos diferentes distancias sucesivamente, pero que su accion coincida con la de la tierra, sean N, N′, N″, los números respectivos de oscilaciones, que ha hecho la aguja en tiempos iguales, y represéntanse por f, f', f'', las fuerzas, que las produjeron: la accion sola del iman en un caso será $f'-f$, y en el otro $f''-f$. Siendo pues $\frac{f'}{f}=\frac{N'^2}{N^2}$, $\frac{f''}{f}=\frac{N''^2}{N^2}$, se tendrá $\frac{f'-f}{f}=\frac{N'^2-N^2}{N^2}$, $\frac{f''-f}{f}=\frac{N''^2-N^2}{N^2}$, de donde $\frac{f'-f}{f''-f}=\frac{N'^2-N^2}{N''^2-N^2}$; sustituyendo los números que representan N, N′, N″, resultan las fuerzas $f'-f, f''-f$ proporcionales á los cuadrados de las distancias.

CAPÍTULO V.

DE LA ELECTRICIDAD EN LOS CUERPOS Y SU DESARROLLO POR EL ROCE.

938. Llámase *electricidad* aquel agente, que se manifiesta por medio de atracciones y repulsiones, por apariencias luminosas, por comociones violentas, por acciones químicas, y por varios otros fenómenos. Este agente se llamó *electricidad* de la palabra griega ἤλεκτρον que significa ambar, la cual sustancia frotada fué la primera en que se descubrieron semejantes fenómenos.

939. La electricidad puede considerarse ó como en reposo en los cuerpos, en que se desarrolla, ó acumula, ó bien en movimiento de un punto á otro. La primera toma el nombre de *electricidad estática*, y produce una tension tanto mayor, cuanto mayor es la cantidad, que se ha acumulado en el cuerpo; la segunda se llama *electricidad dinámica*, en cuyo estado atraviesa los cuerpos con una velocidad comparable á la de la luz.

940. Hay muchos cuerpos, que frotados con un paño ó con una piel de gato, adquieren inmediatamente la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, como pajuelas, papelitos, etc.; esta propiedad se observa principalmente en el ambar amarillo, lacre, resina, azufre, vidrio y seda. Se conoce que un cuerpo se ha electrizado, si acercándolo á una bolita de medula de sauco suspendida por un hilo de seda, la atrae. Este sencillo aparato se llama *péndulo eléctrico*, ó *electroscopio*.

941. Todos los cuerpos pueden electrizarse por frotacion, pero en algunos la electricidad inmediatamente pasa de un punto á otro de su masa; al revés en otros no se propaga, sino que queda en la parte frotada: por lo que aquellos se llaman *buenos conductores* de la electricidad, y estos *malos conductores*. Entre los buenos conductores, se deben contar los metales, el carbon calcinado, el lino, los líquidos, el vapor de agua, las sustancias húmedas, el cuerpo humano y el globo terrestre. Entre los malos conductores se cuentan el lacre, las resinas, el vidrio, la seda, la tierra seca, los aceites y los gases secos. Así es que para poderse conservar la electricidad en un buen conductor, es menester aislarlo por medio de los cuerpos mal conductores, que por esto se llaman *aislantes* ó *cohibentes*.

942. Si se suspenden dos bolitas de médula de sauco de dos hilos de lino, y se les comunica electricidad desarrollada con los mismos medios en un mismo cuerpo, por ejemplo el vidrio ó el lacre, mutuamente se rechazan; pero si teniendo una bolita la electricidad comunicada por el vidrio, la otra tiene electricidad comunicada por el lacre, las bolitas se atraen; de modo que se admiten dos especies de electricidad una llamada *vitrea ó positiva*, porque se suele desarrollar frotando el vidrio, y otra llamada *resinosa* ó *negativa*, porque se desarrolla con las resinas.

943. Ambas electricidades se desarrollan á la vez frotando los cuerpos; el uno toma la una, y el otro la otra; pero el tomar mas bien una que otra depende; 1.° de la naturaleza de los cuerpos; 2.° del estado de su superficie. Así entre las sustancias, que se ponen á continuacion, cada una se electriza positivamente, frotándola con cualesquiera de las que le siguen: piel de gato, vidrio liso, plumas, madera, papel, seda, goma laca. Así tambien el vidrio liso se electriza positivamente frotado con otro vidrio esmerilado. Generalmente se puede decir, que el cuerpo que en el roce se calienta menos, toma la electricidad positiva; y el que se calienta mas, la negativa.

944. Para esplicar estos y otros muchos fenómenos Franklin supuso, que en todos los cuerpos existia un fluido imponderable, inerte y sumamente sutil, llamado *fluido eléctrico*, cuyas moléculas mutuamente se rechazan, y que existe atraccion entre las moléculas del fluido eléctrico y las del cuerpo, con quien está combinado. Si en un cuerpo aumenta la cantidad de este fluido, dicho cuerpo se electriza positivamente, y si disminuye, se electriza negativamente. Symmer supuso, que en todos los cuerpos existian dos especies de electricidad, una que llamó *vitrea*, y otra *resinosa;* las cuales combinadas formaban un *fluido neutro* ó *natural;* que cada uno de estos fluidos obraba por repulsion sobre sí mismo, y por atraccion sobre el otro. Con ambas hypotesis se pueden explicar los fenómenos de la electricidad, que se pueden reasumir en el siguiente principio. *Dos cuerpos*

con electricidad del mismo nombre se rechazan y con electricidad de diferente nombre se atraen.

CAPTULO VI.

DISPOSICION DEL FLUIDO ELÉCTRICO EN LOS CUERPOS, Y SU TENSION.

945. Toda electricidad acumulada sobre un conductor se dispone en su superficie, dejando el interior en estado natural: lo que es efecto del estado repulsivo del fluido eléctrico, que tiende á separarse, cuanto es posible. Para demostrar este fenómeno, se introduce en el interior de una bola metálica electrizada, otra pequeña bola sostenida por un mauguito aislante, y despues de haber tocado el interior, se extrae, y acercándola á un péndulo eléctrico, no da señal alguna de electricidad. Así tambien si dos bolas metálicas de igual radio se electrizan igualmente y luego con una de ellas se toca otra esfera metálica maciza, y con la otra se toca otra de resina dorada de igual radio, despues del contacto tanto la maciza metálica, como la de resina producen igual efecto sobre el péndulo eléctrico; pero esta tiene toda la electricidad comunicada en la sola superficie, por ser un cuerpo mal conductor de la electricidad, luego tambien aquella la tiene toda en su superficie.

946. De varios otros modos puede evidenciarse la acumulacion de la electricidad eu la superficie de los cuerpos electrizados. 1.° Con una esfera maciza metálica aislada, á la que pueden adaptarse dos hemisferios metálicos aislados. Cargando la bola, y luego aplicando los hemisferios, estos toman toda la electricidad, pues se ve que apartando los hemisferios la bola queda en estado natural. 2.° Envuelta una faja metálica flexible sobre un cilindro metálico aislado, al cual se adapta un electrómetro, se electriza el cilindro, y luego se desarrolla la faja; á medida que esta se extiende, baja el electrómetro, y volviéndola á arrollar, sube luego; siendo la masa siempre la misma, y disminuyendo las señales eléctricas, á medida que crece la superficie, se concluye que en esta estaba la electricidad. 3.° En la extremidad de un mango aislante se fija uu círculo metálico que lleva un cucurucho de muselina, á cuyo vértice tanto por fuera, como por dentro, está fijo un hilito de seda. Se electriza la muselina, y por medio de un pequeño disco metálico aislado, que se llama *plano de prueba*, se reconoce, que la superficie exterior es la sola electrizada; luego se tira el hilo de dentro, y así la superficie interior se hace exterior, y vice versa; se vuelve á tocar con el plano de prueba, y se reconoce tambien, que la sola superficie exterior está electrizada. Este experimento es de Faraday.

947. Disponiéndose pues la electricidad en la superficie de los

conductóres en virtud de la repulsion de sus moléculas, ejerce una tension ó fuerza, por la cual tiende á salir del cuerpo, para precipitarse sobre otros no electrizados. Pero siendo el aire mal conductor de la electricidad, la mantendrá sobre el cuerpo, como si realmente ejerciese una presion sobre él. Además atendida la simetría de la esfera, cada punto de su superficie tendrá igual cantidad de electricidad; pero si el cuerpo electrizado es un elipsoide alongado, por necesidad el fluido eléctrico se acumulará mas en las partes mas prominentes, de modo que en la punta de un cono de tal manera se acumularia, que la resistencia ejercida por el aire no seria suficiente para contenerla. De aquí el poder que tienen las puntas metálicas para derramar la electricidad de los conductores. Acercando la mano á una punta electrizada, se percibe una sensacion como de un viento ligero que saliese de la punta, y cuando se observa este derramamiento en la oscuridad, se ve sobre la punta un ramillete de luz.

948. Manteniéndose la electricidad en la superficie de los conductores por la resistencia que el aire opone á su salida, cuanto mas disminuirá el aire, tanto mas disminuirá su resistencia. Así es que en el vacio la electricidad vence la distancia de muchos centímetros, y se disipa.

949. Los conductores pierden mas ó menos rápidamente la electricidad, que se les ha dado 1.° por medio de los sostenes, que jamás son perfectos aislantes y 2.° por medio del aire, que siempre contiene alguna humedad, y cuanta mas contiene, mas conduce la electricidad. Por esta razon en tiempos húmedos es imposible hacer algun experimento de electricidad; á no ser que se procure secar el aire y los sostenes con sustancias hygrométricas, y con lienzos calientes.

950. Las acciones eléctricas sigusa la razoa directa de las cantidades de electricidad, y la inversa del cuadrado de las distancias. Lo que ss demuestra con la balanza de torsion ya dsscrita en el número 933 con la diferencia, qus en vez ds ia aguja magnética *pq* (fig. 167), ss suspende una aguja de goma laca terminada en un pequeño disco metálico. El cuerpo electrizado, que es una esferita metálica aislada con un maago de vidrio, ss introducs dsntro del vaso por la abertura lateral A procurando qus los centros de la esfera y del disco estén en una misma horizontal. Para observar la primera ley, ss electriza la bola metálica, y puesta en contacto con el disco le comunica parte de su elsctricidad, por lo que hay repulsion; se quita entónces la mitad de la slectricidad ds la bola, tocándola con otra bola idéntica; el disco sntónces es rechazado á la mitad de la distancia precedente; y si otra vez ss quita la mitad de la electricidad á la bola, la repulsioa no es mas que de un cuarto. Para verificar la segunda ley, se observa sl ángulo que indica el disco despues de haberlo tocado la bola electrizada, sea por ejemplo de 20°: siendo la torsioa del hilo proporcional á la fuerza de torsion, el número 20 podrá represeatar la fuerza ds la repulsion á la distaacia, en qus se halla la aguja, luego se hace girar el micrómstro en sentido contrario á la separacion ds la aguja, hasta reducir el disco á 10°; el micrómetro habrá corrido 70° qne unidos á los 10° prscedentcs dan al hilo una torsion de 80°, ó sca el cuádruplo de la quc correspondia á la distancia doble; tal es pues la fuerza de repulsion. Del mismo modo se observaria, qus á una distaacia tres vsces mas pequeña la repulsiou representada por la torsion del hilo, seria nueve veces mayor.

CAPÍTULO VII.

INDUCCION ELECTROESTÁTICA Ó ELECTRICIDAD POR INFLUENCIA.

951. Cuando un cuerpo electrizado se acerca á otro no electrizado, este da inmediatamente señales de electricidad, las cuales crecen disminuyendo la distancia entre ambos cuerpos, y desaparecen al separarlos. Esta electricidad, que manifiesta un cuerpo no electrizado al acercarse á otro electrizado, se llama *electricidad por influencia*, y la distancia á que uno influye sobre otro se dice *esfera de actividad*. Este fenómeno se puede observar fácilmente acercando á una máquina eléctrica ordinaria un cilindro conductor aislado, en cuyos extremos se adaptan péndulos eléctricos.

952. Frotando un cilindro de lacre, y acercándolo al péndulo mas inmediato á la máquina eléctrica, se ve que lo rechaza; luego su electricidad es negativa ó resinosa, es decir contraria á la de la máquina eléctrica desarrollada con el vidrio: y frotando un tubo de vidrio, y acercándolo al péndulo puesto en la extremidad opuesta del conductor, tambien lo rechaza; luego su electricidad es positiva ó vitrea es decir, homóloga á la de la máquina. Descompónese pues por influencia el fluido natural del conductor, acumulándose cada especie de electricidad en sus extremos opuestos. Si mientras dura la influencia, se toca el conductor aislado con el dedo, sale una de las dos electricidades, conservándose la otra, que siempre es la opuesta á la del cuerpo influente.

953. Las dos electricidades, esto es, la influente y la influida se hallan separadas por el aire, pero si su tension es tal, que pueda vencer esta resistencia, inmediatamente se recomponen, dando orígen á una chispa mas ó menos viva acompañada de un ruido seco. La distancia á que tiene lugar este fenómeno, se llama *distancia explosiva*, la cual depende de la tension del fluido eléctrico, de la forma del cuerpo, de su conductibilidad, y de la mayor ó menor resistencia del medio interpuesto.

954. Las atracciones y repulsiones, que se observan entre los cuerpos electrizados por carga ó por influencia, se explican por medio de las atracciones ó repulsiones de los fluidos eléctricos. Supongamos que un conductor móvil aislado esté cercano á un cuerpo electrizado: este descompone por influencia la electricidad natural de aquel, atrayendo hácia sí, la de diverso nombre, y rechazando la del mismo nombre á la parte opuesta; y aunque éstas dos electricidades son iguales en cantidad, no lo es su distancia al cuerpo influente; por lo que ejerciéndose las acciones eléctricas en razon inversa del cuadrado de la distancia, el cuerpo móvil será atraido siempre por el cuerpo electrizado. Mucha mayor seria la fuerza de atraccion, si el

cuerpo móvil no estuviese aislado; pues en este caso la electricidad homóloga, pasando al suelo, no opondria impedimento alguno. Si el cuerpo móvil es mal conductor, y electrizado, entonces es atraido ó rechazado por el otro cuèrpo electrizado, segun que tienen electricidad contraria ó del mismo nombre. Pero si está en estado natural, su electricidad tambien se descompone mas ó menos, y así hay siempre atraccion.

955. Si el conductor móvil está tambien electrizado, será atraido, si su electricidad es de diverso nombre; pero si es del mismo nombre en un principio podrá ser rechazado y luego atraido, porque descomponiéndose su fluido natural por influencia, el fluido contrario acumulado á la parte mas cercana, aunque menor en cantidad ejercerá una fuerza atractiva que crecerá con mas rapidez que la repulsiva hasta llegar á serle superior.

CAPÍTULO VIII.

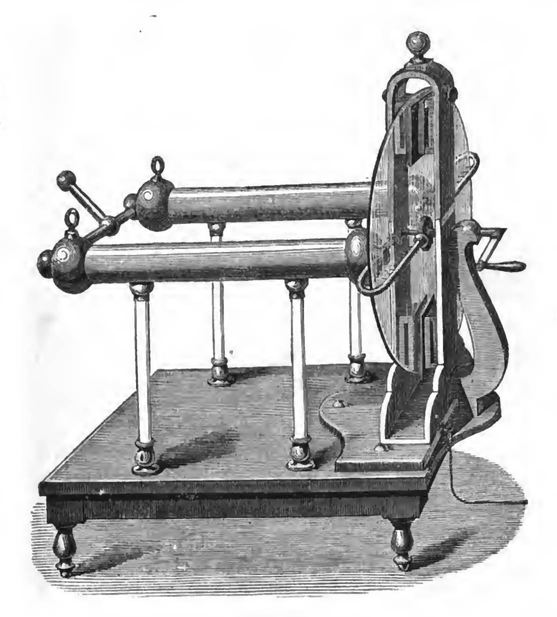
DE ALGUNOS APARATOS DE ELECTRICIDAD.

956. La máquina eléctrica inventada por Otto de Guerike y modificada por Ramsden (fig. 168) consiste en un disco de vidrio, que por medio de un manubrio se hace girar frotando entre dos ó mas pares de almohadillas fijas en los sostenes. Frente al disco hay dos tubos de laton, que comunican entre sí por medio de otro tercer tubo, y que están aislados sobre cuatro piés de vidrio. Por la parte del disco rematan los *conductores* en dos tubos de menor diámetro, cada uno en forma de herradura, que abrazan el disco. Estos tubos se llaman *peines*, porque tienen puntas en la parte que mira al disco. Las almohadillas están embutidas de crines y forradas con piel, sobre la cual se extiende un ligero velo de sebo, que mantiene una capa de oro musivo, ó mejor una amalgama formada de dos partes de estaño, tres de zinc, y cuatro de mercurio. A escepcion de las puntas de los peines, todas las demás partes del conductor están bien redondeadas, para impedir, que la electricidad se disipe. Por efecto del roce de las almohadillas, se descompone la electricidad natural del vidrio, pasando la negativa á las almohadillas, que la trasmiten al suelo por medio de una cadenilla metálica, y la positiva acumulada sobre el vidrio descompone por influencia el fluido natural del conductor, atrayendo hácia sí el fluido negativo, el cual saliendo por las puntas de los peines, va á componerse con el fluido positivo del vidrio, y así queda el solo fluido positivo en el conductor.

957. La máquina eléctrica llamada de *Van-Marum* solo difiere de la ordinaria, en que el conductor es móvil, y se puede poner en comunicacion, ó con el disco de vidrio, ó con las almohadillas, que tambien están aisladas; y así puede cargarse de una ó de otra elec-

tricidad. La máquina de *Nairne* es una modificacion de la precedente, y consiste en un cilindro de vidrio móvil al rededor de un eje, y de dos conductores aislados; en el uno hay una almohadilla, que frota el vidrio en toda su longitud, y en el otro muchas puntas metálicas, por medio de las cuales se carga de electricidad positiva, mientras el otro se electriza negativamente.

958. La máquina hidroeléctrica de *Armstrong* consta de una caldera metálica aislada, análoga á la de las máquinas de vapor. Cuando



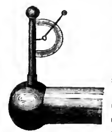
(Fig. 168.)

el vapor ha llegado á una suficiente tension, se hace salir por unos tubos adicionales, cuyo interior es de madera dura y cortada de modo, que el vapor al salir sufra mucho roce. Estos tubos están metidos dentro una cajita que contiene agua fria, la cual es causa de que el vapor comience á condensarse á su salida: entónces presentando á los chorros de vapor un conductor aislado armado de algunas puntas,

este se carga de electricidad. Con el agua pura la caldera se carga de electricidad negativa, y el vapor de positiva. La esencia de trementina produce el efecto contrario ; y las soluciones ácidas ó salinas impiden todo desarrollo de electricidad.

959. Se llaman *electrómetros* unos pequeños aparatos destinados á medir la mayor ó menor carga de electricidad de un cuerpo, y consisten en dos bolitas de médula de sauco, ó en dos pajitas, ó bien en dos laminitas de oro, que se suspenden de un vástago metálico dentro de una campana de vidrio, el vástago en su parte exterior termina en una bola metálica. Para conocer si un cuerpo es electrizado, se toca con él la bola, y se ve, si las laminitas se separan.

960. Se conoce tambien la calidad de electricidad comunicada al electrómetro, frotando un cilindro de vidrio, y acercándolo á la bola, si las laminitas se cierran, la electricidad comunicada al electrómetro es negativa, y si se abren es positiva. En las máquinas eléctricas se suele poner en el conductor un electrómetro de cuadrante (fig. 169) que consiste en un semicírculo graduado vertical en cuyo centro se suspende un pendulito eléctrico. Cuando este se fija en una determinada posicion, no obstante la rotacion del disco, es señal que la electricidad está en su máximo de tension.


(Fig. 169.)

961. La *cabellera eléctrica* consiste en una porcion de tiritas de papel pegadas á la extremidad de un tubo metálico. Puesto este en comunicacion con el conductor de la máquina eléctrica, las tiras se electrizan y mutuamente se rechazan formando una especie de cabellera.

962. El *molinete eléctrico* es una pequeña chapa metálica, que tiene al rededor seis ó mas puntas metálicas, todas encorvadas hácia una misma parte. Equilibrando la chapita sobre una punta metálica fija en el conductor de la máquina eléctrica, al girar el disco de la máquina, comienza á girar el molinete en sentido opuesto al de las puntas; porque la electricidad que sale electriza el aire, y este rechaza la electricidad del mismo nombre de las púntas.

963. Haciendo salir la electricidad por una punta encorvada y presentando á esta una vela encendida, la llama se ve fuertemente rechazada. Si la llama se coloca sobre el mismo conductor, y se le presenta una punta metálica con la mano, tambien la llama es rechazada por efecto del fluido contrario, que se desprende de la punta electrizada por la influencia del conductor.

964. El *repique eléctrico* consiste en tres campanitas suspendidas de un sosten metálico, las extremas con cadenillas metálicas, y la de en medio con un hilo de seda. Entre las campanas se suspenden con

hilos de seda dos badajitos metálicos. Puesto el sosten en comunicacion con el conductor de la máquina, y comunicando la campana de en medio con el suelo por medio de una cadenilla, las campanas extremas se electrizan, atraen los badajitos y los electrizan, y luego los rechazan hácia la campana de enmedio, con cuyo contacto pierden la electricidad recibida; por lo que otra vez son atraidos, y despues rechazados, produciéndose asi un repique mientras dura la electricidad del conductor.

965. Análogo es el experimento llamado del *granizo eléctrico*. Una campana de vidrio de fondo metálico, cuyo cuello está atravesado por una varilla metálica terminada por dentro en un disco metálico, y por fuera en un anillo, contiene muchas bolitas de médula de sauco; poniendo el anillo en comunicacion con la máquina eléctrica, las bolitas son atraidas hácia el disco metálico, y luego rechazadas al fondo, para ser otra vez atraidas y rechazadas.

CAPITULO IX.

DEL ELECTRÓFORO Y DE OTROS APARATOS ANÁLOGOS.

966. El *electróforo* se compone de un disco de resina de superficie plana y unida, amoldada en un estuche de madera ó de metal; encima se coloca otro disco metálico algo menor, que lleva en su centro un mango aislante para poderlo levantar. Se electriza la resina, frotando su superficie con una piel de gato ó de liebre, y luego se pone encima el disco metálico: este se electriza inmediatamente por influencia; la electricidad positiva es atraida á la cara inferior, y la negativa rechazada á la superior. Si en este estado se levanta el disco, los fluidos vuelven á recomponerse inmediatamente, y así no se obtiene señal alguna de electricidad; pero si mientras está bajo la influencia, se toca con el dedo la parte superior, la electricidad negatiga va al suelo, y así levantando el disco, se observa cargado de electricidad positiva, y se puede sacar una chispa, tocándolo. Poniendo otra vez el disco sobre la resina, y tocando el disco del mismo modo, cada vez que se levanta, se saca nueva chispa, sin necesidad de electrizar la resina, la cual puede conservar su estado eléctrico por muchísimo tiempo. Mientras el disco metálico está sobre la resina, la electricidad positiva queda igualmente extendida por toda su superficie inferior, y así en todos los puntos tiene poquísima tension, de modo que el velo sutil de aire interceptado es suficiente para impedir que la electricidad pase de la resina al disco; pero cuando se levanta, y se le presenta el dedo, por la influencia de este, se acumu-

la todo el fluido en un solo punto ; y así tiene la suficiente tension , para vencer la presion del aire.

967. El *condensador* se compone de dos platos metálicos de igual diámetro separados el uno del otro por una lámina aislante de vidrio ó de tafetan barnizado. Se carga uno de los dos platos, poniéndolo en comunicacion con un cuerpo electrizado, y se hace comunicar el otro plato con el suelo. Si el plato que comunica con el cuerpo electrizado no estuviese cercano al otro plato, solo se cargaria como lo está el cuerpo electrizado, pero estando las caras de los dos platos muy poco separadas entre sí , la cara inmediata del otro plato por influencia se carga de electricidad contraria , y las dos electricidades opuestas vienen á neutralizarse en sus efectos; por lo que la electricidad del plato, que comunica con el cuerpo electrizado, no teniendo la tension que tiene en dicho cuerpo, irá aumentándose , y así á su vez hará aumentar la del otro plato ; de modo que ambos platos se cargan siempre mas y mas , hasta uu cierto límite por efecto de la neutralizacion de ambas electricidades. La electricidad así neutralizada se llama *electricidad disimulada* , porque manifiesta toda su tension inmediatamente que un plato se aparta del otro. El plato que comunica con el cuerpo electrizado se dice *colector,* y el otro *condensador*.

968. El colector por efecto de la lámina aislante siempre se carga algo mas , que el condensador ; por lo que llega un punto, en que la diferencia de las dos electricidades opuestas , ó sea la cantidad del fluido libre que contiene el colector, es igual á la que contendria, sino estuviese bajo la influencia del condensador. En este punto ambos platos tienen su máximo de carga , el cual depende de la tension del cuerpo electrizado, y del espesor de la lámina aislante ; porque las dos electricidades opuestas tanto mas completamente se neutralizan , cuanto mas pequeña es la distancia , que las separa.

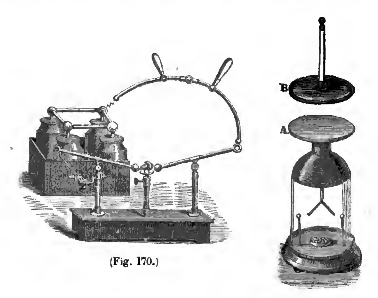
969. Colocando el aparato descrito, cuando está cargado, sobre un cuerpo aislante , si se toca el plato colector con el dedo, este se descarga del fluido libre , dando una pequeña chispa ; por cuyo efecto el plato condensador tiene otra porcion de fluido libre , del que se descarga con otra pequeña chispa , tocándolo; por lo que el colector otra vez tiene otra porcion de fluido libre , y así se pueden descargar completamente los dos platos tocándolos sucesivamente. Pero si los dos platos se ponen en comunicacion entre sí , entónces los dos fluidos de los dos platos se recomponen y neutralizan produciéndose una chispa muy viva.

970. Las electricidades de los platos colector y condensador se hallan como detenidas en las superficies opuestas de la lámina aislante ; porque interceptando la comunicacion del plato condensador con el suelo, y luego quitando los platos por sus mangos aislantes,

se pueden tocar, sin que muestren el menor indicio de electricidad, pero volviéndolos á colocar como antes sobre las caras opuestas del vidrio ó tafetan, el aparato se observa casi tan cargado como antes.

971. El *cuadro fulminante* es una especie de condensador, que al descargarse produce fuertes chispas y conmociones. Este aparato consiste en una lámina de vidrio rectangular, sobre cuyas superficies se pega una hoja de estaño, que toma el nombre de *armadura*, de modo que quede en el vidrio un borde descubierto todo al rededor, de unos 6 ú 8 centímetros. El cuadro se carga, poniendo una armadura en comunicacion con la máquina eléctrica, y la otra con el suelo.

972. La *botella de Leyden* es un aparato análogo en forma de botella : un vástago metálico, que atraviesa el cuello, pone la armadura interior formada con trocitos de oropel ó de hoja de estaño, en comunicacion con la máquina eléctrica. Uniendo entre sí las armaduras interiores de muchas botellas, y tambien entre sí las exteriores, se



(Fig. 170.)

(Fig. 171).

tiene el aparato llamado *batería eléctrica ;* capaz de producir accidentes graves, y aun la muerte. Un electrómetro de cuadrante se adapta á una de las botellas, para indicar la carga de la batería.

973. Para descargar estos aparatos se hace uso de un arco metálico

que se llama *excitador*, y que puede abrirse mas ó menos. Con un extremo del arco se toca primero la armadura, que comunica con el suelo y con el otro extremo la otra armadura interior, y la electricidad salta de esta al arco, en forma de un globito de luz. Si la carga fuese muy grande, se deberia hacer uso de un excitador, que se pudiese tener por mangos aislantes, de otra manera parte de la electricidad podria refluir por la mano. Se suele tambien descargar la batería con un pequeño aparato, que se llama *excitador universal*, el cual consiste en dos columnitas de vidrio, que sostienen cada una una varilla metálica, que puede tomar una posicion cualquiera: entre las columnitas hay un sosten de madera en forma de mesita, sobre la cual se pone el animal ó el cuerpo, por donde se quiere hacer pasar la descarga, y que por esto se aprieta un poco entre los extremos de dichas varillas; las extremidades opuestas, que acaban en forma de anillo se ponen en comunicacion, la una con la armadura exterior, y la otra con la interior de una batería, como manifiesta la figura 170.

974. El *electrómetro condensador* (fig. 171) debido á Volta es un electrómetro de laminitas de oro, cuya varilla sostiene un condensador. Ordinariamente suele servir de colector el plato inferior A que comunica con el electrómetro, y de plato condensador, el superior B, que se pone en comunicacion con el suelo.

CAPÍTULO X.

EFECTOS DE LA DESCARGA ELÉCTRICA.

975. Muchos son los efectos, que produce la descarga eléctrica, cuando pasa á través de un cuerpo mal conductor. Estos efectos pueden reducirse á cinco especies, á saber, efectos luminosos, caloríficos, mecánicos, químicos y fisiológicos.

976. Al descargarse la electricidad acumulada entre dos conductores separados por un mal conductor, se produce el fenómeno de la chispa eléctrica, la cual, si los conductores están algo apartados, se parece á un pequeño rayo, y á un globo de fuego si están cercanos. La chispa es tanto mas viva, cuanto los cuerpos entre que salta, son mejores conductores, y la tension eléctrica es mayor. El color depende de la naturaleza de los mismos cuerpos. En el aire es brillante; en el vacío morada; entre dos carbones, amarilla; entre dos bolas de cobre, verde; y entre dos bolas de marfil, de color carmesí. Habiéndose observado, que en la explosion de la chispa eléctrica hay trasporte de moléculas materiales sumamente finas, se ha concluido,

que el color de la chispa es debido á la materia ponderable trasportada por el fluido eléctrico.

977. Muchos aparatos se han construido sobre la propiedad de presentarse el fluido eléctrico bajo apariencia luminosa, pasando de un cuerpo á otro. 1.° El *tubo chispeante* es un tubo de vidrio, que tiene encolada una laminita metálica en espiral, en la cuase han practicado muchas pequeñas interrupciones. Teniendo una extremidad del tubo con la mano, y tocando con la otra extremidad la máquina eléctrica, todas las interrupciones aparecen iluminadas á la vez. 2.° Sobre un círculo metálico se fijan á igual distancia siete de estos tubos terminados en una esferita metálica, y en el centro sobre una punta aislada se pone una palanca metálica terminada en dos esferitas, que girando vienen á pasar muy cerca de las bolas de los tubos. Poniendo la palanca en comunicacion con la máquina eléctrica, comienza á girar sobre su sosten, por efecto de las atracciones y repulsiones entre su electricidad y la influida ó comunicada á las bolas, la cual saltando por las interrupciones hechas en las laminitas de los tubos los ilumina. Este aparato se llama *templo iluminado.* 3.° El *cuadro iluminado* es una placa rectangular de vidrio, en que se ha pegado una fajita metálica muy estrecha, doblada de una parte á otra paralelamente á sí misma. En esta faja se practican muchas pequeñas interrupciones, que representan un pórtico ú otra figura cualquiera. Puesta la extremidad superior de la faja cerca de la máquina eléctrica, y la inferior comunicando con el suelo, la electricidad de la máquina se descarga sobre el cuadro é ilumina la figura trazada. 4.° La *botella chispeante* es una botella de Leiden, cuya armadura exterior se compone de una capa de barniz sobre la cual se ha esparcido un polvo metálico. Una tira de estaño pegada en el borde inferior comunica con el suelo por medio de una cadenilla, y otra tira pegada mas arriba lleva un apéndice, que se extiende hasta muy cerca del gancho, que comunica con la armadura interior. Se suspende la botella por el gancho al conductor de la máquina eléctrica, y se observan muchas chispas brillantes correr entre el polvo metálico.

978. La luz eléctrica se puede observar en el vacío por medio del *huevo eléctrico*, que consiste en un globo de vidrio de la forma de un huevo terminado por una parte por una varilla metálica, por medio de la cual se suspende en el conductor de la máquina eléctrica, y en la otra tiene un tubo con llave, para poderse hacer el vacío en su capacidad. Hecho pues el vacío, se ve la luz eléctrica derramarse en forma de arcos luminosos poco resplandecientes, por efecto de la poca tension que puede tener el fluido eléctrico. Tambien se puede observar la luz eléctrica en el vacío llenando de mercurio un tubo dos veces encorvado de brazos bastante largos que se sumerjen en cubetas de

mercurio. Haciendo pasar la electricidad por el mercurio á través del tubo, la parte superior encorvada y vacía se ve iluminada por una luz verde muy hermosa, cuando el tubo está algo caliente.

979. Otro efecto de la descarga eléctrica es el calor, á veces muy intenso, que se produce. Atravesando sustancias combustibles, como eter, alcohol, hidrógeno, pólvora, etc., estas se encienden. Con una bateria fuerte un alambre enrojece, y se derrite. Los hilos de oro, platina y plata se derriten y volatilizan. En los hilos de seda dorados se volatiliza el oro, y queda intacta la seda, por ser un cuerpo mal conductor. Del mismo modo se volatiliza una laminita de oro puesta dentro de un papel, quedando este intacto.

980. Muy notables son los efectos mecánicos producidos por la descarga eléctrica. Un prisma de madera de 4 ó 5 centímetros de largo interpuesto entre las varillas del excitador universal, que para este experimento se les hace terminar en punta, al pasar la descarga de la batería es hecho pedazos, y estos lanzados con violencia. Las piedras, vidrios y demas cuerpos malos conductores se rompen con igual facilidad.

981. Poniendo un carton ó una lámina fina de vidrio entre dos puntas metálicas, la descarga eléctrica los agujerea, y en esto consiste el aparatillo llamado *perfora vidrios* ó *perfora naipes*.

982. Así tambien la descarga produce un sacudimiento y expansion súbita en el aire, que atraviesa; lo que se observa con el aparato llamado *termómetro eléctrico de Kinnersley*, que consiste en un tubo hermeticamente cerrado, cuya parte inferior comunica con otro tubo lateral mas estrecho y abierto. En el interior del tubo ancho penetran dos varillas metálicas terminadas en bolas, la inferior fija y la superior movil. Poniendo dentro del aparato un poco de líquido y haciendo pasar la descarga eléctrica entre las bolas, el líquido es rechazado hácia el tubo mas estrecho, donde se eleva sobre su primitivo nivel, por efecto de la expansion del aire encerrado en el tubo mas ancho.

983. Otro efecto mecánico es el trasporte de moléculas ponderables de un punto á otro. Póngase un disco de plata lustrada entre una bola de oro y otro de plata, y hágase comunicar la primera con la armadura interior de una bateria, y la otra con la armadura exterior; despues de la descarga se observan manchas de oro en las dos superficies del disco.

984. Entre los efectos químicos de la descarga eléctrica se cuentan muchas combinaciones, que se producen con este medio. Asi pasando una serie de chispas á traves de un determinado volúmen de aire, este disminuye, y se forma ácido nítrico debido al oxígeno y nitrógeno del mismo aire. Mas fácil es la combinacion del hidrógeno y oxígeno. A este fin se hace uso de la *pistola de Volta*, que consiste

en un pequeño vaso de laton, cuya pared atravesada por una varilla metálica aislada va á terminar cerca de la pared interior opuesta. Se llena el vaso de una mezcla de los sobredichos gases, ó bien de hidrógeno y aire, y se cierra el vaso herméticamente con tapon de corcho: entonces teniendo el vaso con la mano, se toca con el cabo exterior de la varilla el conductor de la máquina eléctrica, y al saltar la chispa se produce la combinacion. El vapor de agua, que resulta, por su tension enorme arroja con violencia el tapon, y se produce una fuerte detonacion debida al aire que con impetu se precipita dentro del vaso, á llenar el espacio antes ocupado por los gases. Si el vaso es de vidrio de paredes muy resistentes y cerrado con tornillo, no se oye detonacion, pero se ve el vidrio iluminado por un instante. Estas combinaciones se obtienen por medio de la elevacion de temperatura que produce la chispa. Mas propiamente efectos químicos de la descarga eléctrica son las descomposiciones de los ácidos sulfhídrico, y clorhídrico, del amoniaco, de los carburos de hidrógeno y de la misma agua, producidas con un gran número de chispas sucesivas.

985. Los efectos fisiológicos que produce la electricidad, consisten en las conmociones que experimentan los animales al tocar un aparato eléctrico. Así sacando con el dedo la chispa del conductor de la máquina eléctrica, se siente un pinchazo tanto mas fuerte, cuanto mas cargada está la máquina. Descargando con las manos una botella de Leyden, la conmocion llega hasta los codos, y aun hasta el pecho; y con una bateria se llegan á matar los ratones, los pájaros, y tambien animales mayores. Cuando muchas personas forman cadena, es decir, están unidas por las manos, y la primera toca la armadura exterior de una botella de Leyden, y la última el boton de la armadura interior, todas sienten una conmocion mas ó menos fuerte, segun la carga eléctrica del aparato.

CAPÍTULO XI.

CAUSAS DEL DESARROLLO DE LA ELECTRICIDAD.

986. Muchas son las causas que determinan el desarrollo de esta fuerza. Una de las principales es el *roce* de un cuerpo con otro, como ya se ha visto en los capítulos precedentes. A esta causa se atribuye la luz que se ve en la parte superior de la cámara barométrica, cuando en la oscuridad se hace chocar el mercurio.

987. La *presion* es otra causa de electricidad aunque mucho menos enérgica, que la precedente. Si dos cuerpos, de los cuales uno es mal conductor, se aprietan el uno sobre el otro, y luego se separan rápidamente, teniéndolos aislados, el uno toma electricidad positiva, y el otro negativa. Asi apretando un corcho contra el cautchuc ó con-

tra una naranja, el corcho se electriza positivamente, y estos otros cuerpos negativamente. Basta apretar entre los dedos por un momento un cristal de espato de Islandia, para que se electrice positivamente, conservando por muchos dias el estado eléctrico. La naturaleza de las sustancias, y el estado de pulidez de las superficies oprimidas influyen mucho, tanto en la especie de electricidad que toman, como en la cantidad. De todos modos conviene secar bien los cuerpos, para que la humedad no impida el efecto, y además se deben separar rapidamente, para que las dos electricidades no se recompongan, cuando cesa el contacto.

988. Tienen bastante analogía con la causa precedente la *exfoliacion* ó sea la separacion de las láminas, de que se componen naturalmente los minerales cristalizados. Así separando las hojas de mica, talco y otros minerales hojosos, se obtienen señales de electricidad en el electroscopio de laminitas de oro, y además en la oscuridad se nota tal vez una débil luz fosforescente. Á esta causa debe atribuirse la luz, que despide el azúcar cuando se parte en la oscuridad.

989. Otra causa de electricidad es el *calor*. Por un hilo de seda se suspenda por ejemplo una turmalina, sustancia que muestra mejor, que otros cuerpos estos efectos, y debajo de ella se ponga una lámina metálica, que se hace calentar con una lamparita: á medida que la turmalina se calienta, tambien se electriza, por un punto positivamente, y por el otro opuesto negativamente. Si la temperatura se hace constante cesan las señales eléctricas, mas enfriándose vuelven á manifestarse, pero en sentido contrario, es decir que el punto, que antes mostraba electricidad positiva, enfriándose muestra la negativa.

990. Las acciones químicas que tienen lugar en la *evaporacion*, *combustion* y *oxidacion* son otra causa muy poderosa de electricidad. Evaporando las soluciones ácidas y salinas, el vapor de agua se electriza positivamente, y la sustancia salina negativamente; pero si la sustancia es alcalina, esta se electriza positivamente, y el vapor negativamente. Estos efectos se pueden observar con el condensador, poniendo encima del plato superior un crisolito de platino muy calentado y echando en él algunas gotas del líquido, que debe evaporarse; el plato inferior se pone en comunicacion con el suelo.

991. En la combustion, el cuerpo combustible se electriza negativamente, y el producto positivamente. Para observarlo se fija al plato inferior del condensador una planchita metálica, sobre la cual se hace encender un carbon, y el plato superior se pone en comunicacion con el suelo, al levantar este plato, las laminitas divergen, y se reconoce ser negativa su electricidad. Si se quisiese la electricidad positiva, se pondria el carbon comunicante con el suelo debajo del plato inferior, de modo que la extremidad superior de la llama diese en él.

992. Cuando un ácido tiene accion sobre un metal, el ácido se electriza positivamente, y el metal negativamente; lo que tambien se observa con el electrómetro condensador. Para esto se moja una extremidad de una lámina de zinc, y tomándola por esta extremidad se toca con la otra el plato inferior, mientras que el superior comunica con el suelo. Quitando luego las comunicaciones, y levantando el plato superior, se ve la divergencia de las laminitas, que se reconoce producida por la electricidad negativa. Ninguna señal se obtiene haciendo el experimento con metales no oxidables, luego el efecto es debido á la accion del ácido sobre el metal, el cual efecto se obtiene con toda clase de ácidos, y con todos los metales oxidables.

993. Finalmente, la electricidad se desarrolla por acciones fisiológicas en muchos animales, sin que se pueda atribuir á ninguna de las causas precedentes. Hay una clase de peces llamados *eléctricos*, que están dotados de un órgano particular, en el cual condensan una cantidad extraordinaria de electricidad: los mas conocidos son la *tremielga* muy comun en el Mediterráneo, y el *gimnoto* en algunos puntos de la costa de América. Cuando se toca con la mano uno de estos peces, se recibe una fuerte conmocion, si el animal está irritado. Esta conmocion se hace sentir por todas las personas, que forman un circuito, tocando la primera el vientre, y la última el dorso del animal, del mismo modo que se recibe la conmocion descargando una botella de Leiden. La conmocion es menos violenta, cuando se produce dentro del agua, pero se hace sentir á mayor distancia. El dorso se carga positivamente, y el vientre negativamente. De esta arma se sirven tales peces para aturdir á otros peces y defenderse de ellos.

CAPÍTULO XII.

DEL ELECTROTISMO DE LOS CUERPOS, Y DE LA PILA DE VOLTA.

994. Cuando los nervios lumbàres de una rana recientemente desollada se ponen en comunicacion con los músculos de los muslos, ó de las piernas por medio de un arco metálico, la rana sufre violentas contracciones. Galvani profesor de anatomía en Bolonia, que fué el primero en observar este fenómeno, lo atribuyó á un fluido particular que tuviesen los nervios, y que puesto en comunicacion con los músculos, produjese dichas contracciones en ellos. Luego se atribuyó el fenómeno al fluido eléctrico inherente al animal, porque con dicho fluido se producian semejantes efectos, los cuales absolutamente faltaban, si al arco metálico se sustituia un arco mal conductor. El fluido eléctrico animal se llamó *fluido galvánico*.

995. Volta profesor de física en Pavía observando que la conmocion de la rana era incomparablemente mas enérgica, si el arco metálico se componia de dos metales diferentes; atribuyó el desarrollo del fluido galvánico al contacto de los dos metales, y consideró los miembros de la rana como un conductor del fluido eléctrico. Pero como tambien se observaba conmocion tocando simplemente los nervios con los músculos, sentó el principio, *que dos sustancias heterogéneas cualesquiera puestas en contacto, siempre se constituyen, la una electropositiva, y la otra electronegativa.*

996. Para demostrar este estado eléctrico con el simple contacto de dos metales, Volta soldó una lastra de cobre con otra de zinc, y teniendo esta con la mano, tocaba con la extremidad de la otra el condensador, y obtenia señales de electricidad, las cuales aunque menores no faltaban tampoco, sosteniendo el zinc con un mango aislante. Si teniendo con la mano la lastra de cobre tocaba con la de zinc el condensador, no obtenia señal alguna de electricidad; pero se obtenia tambien, si el contacto del zinc con el condensador no era inmediato, sino por medio de un pedacito de paño ó carton mojado en agua.

997. Se llamó pues *electrotismo* ó *fuerza electro-motriz*, la que desequilibra el fluido eléctrico natural existente en los cuerpos, empujándolo del uno al otro, y acumulándolo sobre el uno á expensas del otro. Como esta fuerza electromotriz no desarrolla la misma cantidad de fluido en todos los cuerpos, estos se dividieron en *buenos y malos electromotores;* entre los primeros se cuentan los metales y el carbon bien calcinado, y entre los segundos los líquidos, y en general los cuerpos no metálicos.

998. El estado eléctrico que toma un cuerpo á contacto de otro, depende de la naturaleza de los mismos cuerpos. La tabla siguiente da el órden con que se pueden colocar, comenzando por los mas electronegativos; de modo que la fuerza electromotriz ó la cantidad de fluido acumulado es tanto mayor, cuanto los cuerpos están mas distantes en esta serie.

1 Carbon calcinado.	6 Plata.	11 Plomo.
2 Plombajina.	7 Cobre.	12 Zinc.
3 Oro.	8 Laton.	13 Amalgama de zinc.
4 Platino.	9 Hierro.	14 Potasio.
5 Mercurio.	10 Estaño.	15 Amalgama de potasio.

999. En la actualidad la mayor parte de los físicos atribuyen á una accion química el desequilibrio del fluido eléctrico, que Volta atribuyó al simple contacto de los cuerpos heterogéneos. No obstante, aunque siempre que hay una accion química se produce electricidad, parece que el contacto en muchísimos casos la produzca tambien, sin la intervencion de ninguna accion química.

1000. Volta siguiendo exclusivamente la teoría del contacto, y habiendo observado, que un paño mojado trasmitia la electricidad al condensador, pensó que tambien la trasmitiria á otra lastra de cobre soldada con otro zinc, y así se tendria doble efecto en el condensador: y habiéndose verificado su pensamiento dió en la invencion del admirable y fecundísimo aparato, que ha inmortalizado su nombre, esto es, la *pila Voltaica*. La forma que el autor dió á este aparato era de una columna, que por esto se llamó *pila de columna* compuesta de discos de cobre y zinc de igual diámetro, y de rodelitas de paño algo menores mojadas en agua salada ó acidulada. El disco de cobre soldado con el zinc toma el nombre de *elemento ó par,* con estos elementos dispuestos en el mismo órden é intercalados con las rodelitas mojadas se forma dicha columna.

1001. El estado eléctrico de la pila es diferente, segun que está ó no aislada. Por medio del condensador se observa, que si la pila está aislada, su parte media se halla en estado natural, y desde este punto va creciendo la tension hácia los extremos, donde es máxima: la mitad terminada en zinc se carga positivamente, y la otra mitad negativamente. Si la pila no está aislada, entónces la extremidad, que comunica con el suelo queda en estado natural, y toda la pila no contiene sino una especie de electricidad, que es la positiva, si la extremidad aislada acaba por el zinc; y la negativa, si termina por el cobre. La extremidad que se carga de electricidad positiva toma el nombre de *polo positivo*, y la otra extremidad el de *polo negativo*.

1002. Se dice *tension* de una pila, la tendencia que tiene la electricidad acumulada en los polos á precipitar y vencer los obstáculos, que se le oponen. Esta tension crece con el número de elementos, aunque no proporcionalmente. Si la pila no consta de un número extraordinario de elementos, su tension es muy débil, pues ni se puede sacar chispa, ni atraer los cuerpos ligeros, y solamente se hace sensible con un electrómetro condensador. Se puede tambien cargar una botella de Leiden, pero en un grado muy inferior al que se carga con la máquina eléctrica. La tension no debe confundirse con la cantidad de electricidad, que puede desarrollarse, pues esta en igualdad de circunstancias depende de la superficie de los elementos. De modo que á igual tension, tanta mayor cantidad de electricidad puede circular, cuanto mayor es la superficie de los elementos. Crece tambien esta cantidad con la conductibilidad del líquido interpuesto.

1003. Llámase *corriente*, la recomposicion de los fluidos eléctricos contrarios, que tiene lugar poniendo los polos de la pila en comunicacion entre sí, por medio de hilos metálicos llamados *reoforos* fijos en los mismos pólos. Los cabos sueltos de estos hilos se dicen *electrodos*. Las corrientes son contínuas, porque la fuerza electrómotriz con-

tinuamente descompone la electricidad natural de los elementos. Cuando hay corriente, lo que se expresa diciendo, que el *circuito está cerrado,* cesan todas las propiedades de la electricidad al estado de tension, y se desarrollan otras, que caracterizan las corrientes, y son el objeto de la *electrodinámica.*

CAPÍTULO XIII.

DE LAS PRINCIPALES MODIFICACIONES DE LA PILA VOLTAICA.

1004. La pila Voltaica desde su invencion, que fué en 1800 ha recibido un número infinito de modificaciones, que apenas recuerdan su primera forma. Todas estas pilas pueden reducirse á dos clases, á saber, á pilas de un líquido, y á pilas de dos. A la primera clase pertenecen la *pila de artesa*, la de *Wollaston*, la de *Smeé*, la de *Sturgeon*, la de *Pulvermacher* y la *seca* ó de *Zamboni*: á la segunda clase pertenecen la de *Daniell*, la de *Bunsen* y la de *Grove.*

1005. La pila de columna oprimiendo por su propio peso las rodelitas mojadas, estas pierden presto el líquido que contiene. Para obviar este inconveniente, se dispone la pila horizontalmente, y en forma de cajita, de modo que los elementos la dividen en compartimientos iguales, y los intérvalos se llenan del líquido acidulado. Esta forma recibió el nombre de *pila de artesa.*

1006. En la pila de *Wollaston* cada lámina de zinc se suelda con otra de cobre, por medio de una lengueta metálica; pero el zinc de un elemento y el cobre de otro se sumergen en un vaso de vidrio, que contiene el liquido, que es agua acidulada con $\frac{1}{16}$ de ácido sulfúrico. A la última plancha de zinc y á la última opuesta de cobre se sueldan dos laminitas ó hilos de cobre, que hacen de reoforos. Todos los elementos están dispuestos en un telar de madera, de modo que todas las planchas entran simultáneamente en sus respectivos vasos.

1007. Las pilas de *Smeé* y de *Sturgeon* se reducen á la pila de *Wollaston:* en la de Smeé el cobre es reemplazado por una lámina de platino, y en la de Sturgeon con un vaso de fundicion, en que se pone el agua acidulada con un $\frac{1}{8}$ de ácido sulfúrico, y dentro se sumerge el zinc, apoyándolo sobre una maderita, para aislarlo del otro metal.

1008. La pila de Pulvermacher se compone de unos cilindritos de madera, sobre los cuales se enroscan el uno al lado del otro sin tocarse dos hilos uno de cobre y otro de zinc. El cabo del hilo de zinc de un cilindrito se articula con el cabo del hilo de cobre del cilindro in-

mediato, por medio de anillitos fijados en la madera, y así se forma como una cadena con estos elementos, comparable á la pila de columna. Para poner esta pila en actividad, se sumerge en un vaso de vinagre mas ó menos extendido de agua, y los cilindros de madera, empapándose de líquido, hacen el oficio de las rodelitas.

1009. Hay una especie de pilas llamadas *secas* inventadas por Zamboni enteramente análogas á las pilas de columna, en que las rodelitas están reemplazadas por un cuerpo sólido higrométrico. Los cuerpos electromotores son el estaño y el bióxido de manganeso. Para construir esta pila se toma una hoja de papel plateado, y por la parte del papel se fija con un cuerpo graso, como seria por ejemplo, la leche, el bióxido de manganeso bien lavado y reducido á polvo fino. Poniendo luego algunas hojas encima de otras, se van cortando discos de dos ó tres centímetros de diámetro, con los cuales se forma una columna, poniendo los discos siempre en un mismo sentido. A cada extremo se fija un disco de cobre, y se aprieta el todo con cordoncitos de seda. El disco de cobre que está en contacto con el manganeso representa el polo positivo, y el otro el negativo. Estas pilas son notables por la duracion de su accion, que puede ser de muchos años. Su energía depende mucho de la temperatura y del estado higrométrico del aire.

1010. Las pilas ordinarias, compuestas de dos metales y un líquido, tienen el grave inconveniente, que su intensidad decrece con gran rapidez 1.° por neutralizarse la accion del ácido sulfúrico con la formacion del sulfato de zinc. 2.° porque descomponiéndose luego esta sal por efecto de la misma corriente, el otro metal se cubre de un velo de zinc, con lo que se origina una corriente secundaria de direccion opuesta á la principal, y que en parte la neutraliza ó enteramente destruye.

1011. Las pilas formadas con dos metales y dos líquidos se llaman de *corriente constante*, porque por mucho tiempo conservan una intensidad sensiblemente uniforme. En estas pilas los líquidos están separados entre sí por un cuerpo poroso, que se llama *diafragma*, el cual si bien deja pasar la corriente, impide que los líquidos se mezclen. En un líquido se sumerge un metal, y en el otro, el otro : pero de modo que uno solo sufra accion química; y además que la corriente que resulta de la accion mútua de los dos líquidos vaya en la misma direccion, que la corriente producida por la accion química del ácido sobre el metal.

1012. La pila de *Daniell* se forma con vasos de vidrio, que contienen disolucion de sulfato de cobre, en el cual se sumerge un tubo bastante ancho de cobre; dentro de este tubo se pone un vaso poroso, que contiene agua salada ó acidulada, en la que se sumerge un cilindro de zinc. El cobre de un vaso comunica con el zinc del inme-

diato por medio de láminas de cobre. Con esta disposicion mientras el circuito está abierto, la pila no tiene accion ; pero cerrando el circuito, inmediatamente comienza la accion química. El agua acidulada se descompone, combinándose su oxígeno con el zinc, para formar el óxido de zinc, y el hidrógeno pasando á través del diafragma, se combina con el oxígeno del óxido de cobre ; el cobre que queda libre precipita en polvo sobre el tubo de cobre, y el ácido sulfúrico del sulfato de cobre puesto en libertad pasa á través del diafragma, para combinarse con el óxido de zinc y formar sulfato de zinc. El resultado es disolucion de sulfato de zinc dentro del vaso poroso, y agua en contacto del cobre. Por lo que la pila se iria debilitando, si no se reemplazase la pérdida del sulfato de cobre con nuevos trozos de esta sal, que se van añadiendo á medida que se disuelven. Igualmente conviene renovar el agua acidulada, para descargarla de la sal de zinc que contiene.

1013. La pila de *Grove* se diferencia de la precedente, en que dentro del vaso poroso se pone una lámina de platino ó de cobre platinado y ácido nítrico, y en el vaso de vidrio un tubo de zinc con agua acidulada, con $\frac{1}{10}$ de su volúmen de ácido sulfúrico. Sustituyendo un cilindro de carbon calcinado ó de coke á la lámina de platino, se tiene la pila llamada de *Bunsen*. El platino ó carbon de un elemento se une con el zinc del otro por medio de fajitas metálicas apretadas con tornillos de presion como se ve en la figura 172. En estas dos pilas el hidrógeno del agua acidulada pasa á través del diafragma, y determina la descomposicion del ácido nítrico, que se reduce á ácido hiponítrico, del cual parte queda en disolucion, y parte se desprende en vapores, que hacen muy incómodas á estas pilas, aunque por otra parte son las mas enérgicas, que se conocen.

(Fig. 172.)

1014. Los elementos de las pilas de corriente constante pueden combinarse de diferentes maneras. Sean por ej. seis los elementos, se tendrán cuatro combinaciones diferentes : 1.ª en una serie longitudinal, en la cual sucesivamente el zinc de un elemento se une con el cobre del inmediato : 2.ª en dos series de tres elementos cada una, reuniendo los rooforos de los polos positivos en uno solo, y así tambien los negativos : 3.ª con tres series cada una de dos elementos, cuyos rooforos del mismo nombre concurran en uno solo ; y 4.ª reuniendo todos los rooforos del mismo nombre en los seis elementos. Con estas diferentes disposiciones disminuyendo la longitud de la

serie en razon inversa del número de ellas, equivale á disminuir el número de elementos, aumentando su superficie; con lo que disminuye tambien la resistencia, que la corriente encuentra en la misma pila; pues representando por 1 la resistencia, que opone cada èlemento, en la primera disposicion la corriente tiene que vencer una resistencia igual á 6; en la segunda disposicion la resistencia será 3 para cada serie, y como la corriente se dobla, la resistencia se reducirá á $\frac{3}{2}=1,5$; en la tercera disposicion será 2 para cada serie, y por consiguiente se reducirá á $\frac{2}{3}=0,666$; finalmente en la cuarta será $\frac{1}{6}=0,1666$... En práctica se debe escoger aquella combinacion, de que resulte una resistencia igual poco mas ó menos, á la que la corriente tiene que vencer, pasando de un reoforo al otro, para que se mantenga constante en todo el circuito.

1015. Habiéndose observado que el zinc puro y el zinc amalgamado no sufren la accion del agua acidulada, sino está unido con un hilo de platino ó de cobre, en toda clase de pilas se hace uso del zinc amalgamado, el cual queda así intacto, mientras no está cerrado el circuito. Además se observa, que con el zinc amalgamado la corriente es mas intensa y regular. El zinc se amalgama, facilmente sumergiéndolo primero en el agua acidulada, y luego en un baño de mercurio, en el que se tiene cerca de un minuto.

CAPÍTULO XIV.

DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA PILA.

1016. Los efectos producidos por las corrientes eléctricas, aunque de pequeña tension, son mucho mas notables por razon de la continuidad de la causa, que los produce, que los que se obtienen con la electricidad desarrollada en las máquinas eléctricas. Estos efectos pueden reducirse á cuatro clases, á saber, efectos fisiológicos, físicos, químicos y magnéticos. Los efectos fisiológicos dependen principalmente de la tension de la pila, ó sea del número de sus elementos, pero los efectos físicos dependen mas bien de la cantidad del fluido eléctrico puesto en movimiento, ó sea de la superficie de los mismos elementos. Todos los efectos en general aumentan con la conductibilidad del líquido de la pila.

1017. Los efectos *fisiológicos* consisten en las conmociones y contracciones musculares mas ó menos violentas, que sufren los animales, por los cuales se hace pasar la corriente. La conmocion es tanto mas fuerte, cuanto mayor es el número de elementos, de modo que

con 100 ó 150 elementos es peligrosa. Los miembros de los cadáveres experimentan estrañas contracciones, que se asemejan á las acciones de la vida, pero que cesan instantaneamente con la corriente.

1018. Se aumenta el efecto, tocando una superficie ancha, y mejor aun empuñando con las manos mojadas en agua acidulada dos cilindros metálicos fijados á los extremos de los reoforos. Con las manos secas se obtiene poco efecto, por ser la epidermis mal conductora del fluido eléctrico. Las conmociones tienen su mayor intensidad al cerrar y abrir el circuito, cesando casi enteramente, cuando la corriente está bien establecida; lo que parece indicar, que al penetrar el fluido eléctrico, se produce una modificacion instantánea en el órgano del animal, que subsiste, mientras dura la corriente.

1019. De diferentes modos se puede producir la interrupcion del circuito para obtener el máximo efecto fisiológico: 1.° por medio de una espiralita muy movible, en que termina un reoforo, fija á un miembro y cuyo cabo libre está muy cerca del otro polo de la pila ó de su reoforo; y así al mas pequeño movimiento del miembro, se cierra y abre el circuito: 2.° por medio de una rueda dentada, que forma parte del circuito, cuyos dientes por una parte tocan constantemente una lámina metálica, en que termina un reoforo, y por la otra tocan, girando la rueda, un pequeño apéndice en que termina el otro reoforo: 3.° por medio de un electro-iman, como se dirá en el n. 1041.

1020. Esta accion de la corriente sobre los órganos de los animales, ha hecho que se aplicase la pila á la curacion de varias enfermedades, como la gota, la parálisis, el reumatismo, etc. La pila de Pulvermacher es una de las que mejor se prestan á las operaciones terapéuticas. Por lo demás debe aplicarse la pila con mucha prudencia, porque su accion prolongada demasiadamente puede acarrear graves accidentes. Además conviene tener un profundo conocimiento de las propiedades diversas, de que gozan las corrientes de las pilas, y las de induccion (1081), pues estas, aunque muy fuertes, ejercen una accion química muy débil, lo que no es así en las corrientes de las pilas.

CAPÍTULO XV.

EFECTOS FÍSICOS DE LA PILA.

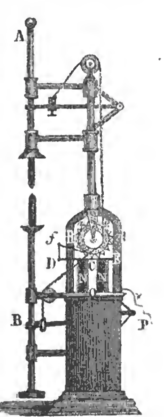
1021. Los efectos *físicos* se reducen á los *caloríficos* y á los *luminosos;* y en cuanto á los caloríficos, se experimenta, que pasando la corriente por un hilo metálico se calienta, se enciende, se funde y volatiliza segun su mayor ó menor longitud y diámetro. Con una pila fuerte todos los metales sin escepcion se funden. El mismo carbon se ha visto sufrir un principio de fusion, y pegarse un trozo á otro. Haciendo pasar la corriente por hilos metálicos de igual diámetro y longitud, pero de diferente sustancia, se ha observado, que los que

tienen menor conductibilidad, son los que mas se calientan; de lo que se ha concluido, que el efecto calorífico es debido á la resistencia, que sufre el fluido eléctrico, atravesando el conductor.

1022. La pila es despues del sol la fuente de luz mas intensa, que se conoce. Los efectos luminosos se manifiestan por chispas y por la incandescencia de las sustancias, que unen los polos. Si la corriente se hace pasar por un hilo muy largo puesto en espiral, el efecto es mayor, principalmente si dentro de la espiral se introduce un cilindro de hierro dulce.

1023. Segun las sustancias, que la corriente atraviesa, la luz eléctrica presenta diferente color. El hierro ó el platino arrojan una luz blanca brillante; el plomo la da purpúrea; el estaño y el oro, blanca azuleja; el zinc rojiza; y el cobre y la plata, verde. Sobre todo es notable la brillantez de la luz eléctrica, cuando la corriente pasa entre dos puntas de carbon de coke bien calcinado. Puestas las puntas á contacto comienzan á encenderse, luego se van separando la una de la otra, sin que la corriente se interrumpa, y el espacio queda ocupado por un arco luminoso brillantísimo, que se llama *arco voltaico*, el cual con una pila de 600 elementos de Bunsen puede llegar á tener 7 centímetros de longitud. Se ha reconocido que con 48 elementos de Bunsen se produce una luz, que en su intensidad equivale á 600 velas ordinarias. Por lo que á una pequeña distancia podria producir funestos efectos sobre los ojos, y así conviene preservarlos con vidrios verdes. El arco voltaico puede producirse tambien debajo del agua, pero entonces tiene menor longitud é intensidad.

1024. En estos últimos años se ha comenzado aplicar la luz eléctrica al alumbrado; y para que su brillo fuese constante se han inventado unos aparatos llamados *reguladores*, que acercan los conos de los carbones, á medida que se gastan. La figura 173 representa uno de estos aparatos, que consta de un barrilete formado de dos cilindros *a* y *b* cuyos diámetros son como 2 : 1, esto es, proporcionales al consumo de los carbones: en el cilindro *a* se enrolla una cuerdecita, que sostiene el peso de la varilla metálica A que lleva el carbon positivo, y en el cilindro *b* se enrolla la que sostiene la varilla B, que lleva el carbon negativo. Debajo del barrilete hay un cilindro de hierro dulce NQN rodeado de un alambre de cobre cubierto de seda, por el cual pasando la corriente, se convierte en un poderoso iman, que tira otro trozo C de hierro dulce, con que termina una palanca



(Fig. 173.)

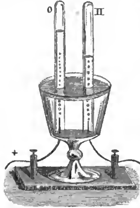
DCE de segundo órden, por cuyo medio se levanta un tope *f* que impide el giro de una rueda dentada R fija al barrilete. Puestos pues en contacto los dos carbones, se hace llegar la corriente de la pila por el alambre P, la cual despues de haber seguido las espirales del alambre, que envuelve al hierro dulce NQN, sube por el sosten metálico á la varilla A, y pasa por los dos conos de carbon á la varilla B, para volver á la pila. Pero si por haberse gastado demasiado los carbones se debilita la corriente, el trozo C de hierro dulce forzado por un pequeño resorte es separado del electro iman, y así se separa tambien el tope *f*, con lo que el barrilete puede ya girar, y acercar los carbones, y así reforzarse la corriente, que actua sobre el electro-iman que tirando de nuevo al hierro C, levanta otra vez el tope, y quedan fijos el barrilete, y las varillas que llevan los carbones.

1025. La luz eléctrica descompuesta por medio de un prisma, produce un espectro análogo al espectro solar, pero las rayas obscuras llamadas de Fraunhofer, que se observan en el espectro solar, son reemplazadas por rayas muy brillantes. Además ejerce una accion química sobre las sustancias, como la luz del sol.

CAPÍTULO XVI.

EFECTOS QUÍMICOS DE LA PILA.

1026. La accion de la corriente voltaica fué aplicada á la descomposicion de los cuerpos casi desde el descubrimiento de la pila. La primera descomposicion fué la del agua obtenida en 1800 por los ingleses Carlisle y Nichoson. El aparato de que se hace uso para este efecto llamado *voltámetro,* se compone de un vaso cónico de vidrio (fig. 174) á cuyo interior se hacen penetrar los cabos de dos hilos de platino llamados *electrodos*, que se ponen en comunicacion con los polos de la pila. Lleno el vaso de agua acidulada, se colocan sobre dichos cabos dos campanitas de cristal en forma de tubos llenas tambien de agua. Inmediatamente que se cierra el circuito, se ven multitud de burbujitas de gas desprenderse de los electrodos, y dirigirse á la parte superior de las campanas: además en la campana, que comunica con el polo negativo, se recoge un volúmen doble, que en la otra, y examinando estos gases, se reconoce, que el



(Fig. 174.)

mayor es hidrógeno, y el menor oxígeno: con lo que se obtiene á la vez la análisis cualitativa, y cuantitativa del agua. Si los electrodos son de un metal oxidable, el oxígeno que se desarrolla, se combina inmediatamente con el electrodo, y no se obtiene sino hidrógeno. Al revés si se acidula el agua con ácido nítrico, no se recoge sino oxígeno, porque el hidrógeno, al desarrollarse, se combina con el oxígeno del ácido, formándose agua y ácido hiponítrico.

1027. Todos los óxidos se descomponen por la accion de una corriente suficientemente intensa, dirigiéndose el oxígeno al polo positivo, y el metal al negativo. Así tambien descomponiéndose los ácidos, el oxígeno se recoge al polo positivo y el radical al negativo; pero en la descomposicion de los hidrácidos, el hidrógeno va siempre al polo negativo, y el radical al positivo. Para descomponer un ácido, basta llenar un tubo recurvo, y poner en comunicacion las extremidades del líquido con los electrodos.

1028. La descomposicion de las sales algunas veces es completa, otras solamente parcial, segun la mayor ó menor afinidad de las sustancias. Si el ácido y el óxido son muy estables, entónces solamente se separan, y el ácido va al polo positivo, y el óxido al negativo. Si los elementos del ácido tienen poca afinidad, este se descompone, su oxígeno va al polo positivo, y el radical juntamente con la base al negativo. Si el óxido es débil, el metal va al polo negativo, y su oxígeno y el ácido al positivo. Finalmente si el ácido y la base son poco estables, el oxígeno de ambos se recoge al polo positivo, y los dos radicales al negativo. Así por ejemplo poniendo en un tubo recurvo una disolucion de sulfato de potasa ó de soda colorada de azul con el jarabe de violetas, despues de algunos minutos, que las extremidades del líquido comunican con los electrodos de platino, el brazo comunicante con el electrodo positivo, toma un ligero color encarnado, y el otro brazo se colora de verde, lo que manifiesta la presencia de un ácido en el primero, y de un alcali en el segundo.

1029. Para explicar estos fenómenos, tómese el agua por cuerpo *electrólito*. Se supone en primer lugar, que cada molécula de agua esté compuesta de una molécula de oxígeno y de otra de hidrógeno de un volúmen doble; que estas moléculas contengan una cierta cantidad de electricidad, y que el oxígeno la tenga negativa, y el hidrógeno positiva. Sumergidos los electrodos en una masa de agua, el positivo por influencia obrará sobre la primera molécula interceptada entre ellos, tirando hácia sí el oxígeno, y rechazando el hidrógeno; esta primera molécula por influencia producirá el mismo efecto sobre la molécula siguiente, y esta sobre la inmediata hasta llegar al electrodo negativo, el cual concurre á producir el mismo efecto. Por lo que las moléculas de agua estando solícitas por dos fuerzas

contrarias, á saber, la *electrolítica* de la pila, que tiende á separar sus elementos, y la afinidad química, que tiende á unirlos, si la primera de estas fuerzas es superior á la segunda, el oxígeno de la primera molécula quedará libre, y el hidrógeno de esta molécula se unirá con el oxígeno de la segunda, y así sucesivamente, quedando tambien libre el hidrógeno de la última molécula, que está á contacto del electrodo negativo: y estas descomposiciones y recomposiciones tendrán lugar en todas las hileras de moléculas interpuestas entre los electrodos, y durante todo el tiempo que pasa la corriente. Segun esta teoría propuesta por *Grotthuss*, no hay trasporte de moléculas, sino simple desarrollo de los gases á contacto de los respectivos electrodos. Del mismo modo se puede concebir la descomposicion de los óxidos, de los ácidos, y de las sales; y como constantemente el oxígeno y los ácidos se recogen al polo positivo, estos cuerpos toman el nombre de *electro-negativos;* el hidrógeno y las bases recogiéndose siempre al polo negativo, se llamarán *electro-positivos*.

1030. En cuanto á las descomposiciones electro-químicas, las corrientes siguen las tres leyes siguientes. 1.ª *La corriente produce igual efecto en todos los puntos del circuito:* lo que se demuestra haciendo pasar la corriente sucesivamente por muchos voltámetros, pues en todos los electrodos positivos se recoge igual cantidad de oxígeno, y en los negativos de hidrógeno. 2.ª *La cantidad de efecto es proporcional á la intensidad de la corriente;* lo que se demuestra con tres voltámetros, que se llenan todos de la misma agua acidulada: la corriente despues que se ha hecho pasar por uno de ellos, por medio de dos conductores iguales se hace pasar simultaneamente por los otros dos; así se observa que las cantidades de gases obtenidas en el primer voltámetro son iguales á la suma de las recogidas en los otros dos puntos: y si los conductores son idénticos bajo todos conceptos, en cada uno de los dos últimos voltámetros hay la mitad de los gases recogidos en el primero. De lo que se sigue que se puede medir la intensidad de la corriente por el efecto químico que produce. 3.º *Cuando una misma corriente actua sucesivamente sobre una serie de disoluciones, los pesos de los elementos recogidos en los diferentes electrodos son proporcionales á sus equivalentes químicos*. Por ejemplo si una misma corriente atraviesa simultaneamente diferentes voltámetros, el primero con solo agua acidulada, el segundo con solucion de sulfato de cobre, el 3.º con nitrato de plata, el otro con acetato de plomo, etc., se halla que el peso del oxígeno obtenido en un electrodo positivo es al peso de cada radical recogido en los diferentes electrodos negativos, como 100 es á los equivalentes respectivos de estos mismos radicales. Pero conviene notar, que esta ley llamada de *Faraday* supone que el radical separado no obre sobre el agua para oxidarse, porque en tal

caso habria una accion secundaria, que complicaria la ley expuesta.

1031. En la descomposicion de las sustancias los elementos son tal vez trasportados de un punto á otro, aun á través de sustancias con quienes tienen suma afinidad. Asi poniendo una solucion salina en un vaso de vidrio, y agua destilada en otro, é interponiendo entre los liquidos un hilo de amianto, al poner los electrodos en comunicacion con los liquidos, el ácido ó la base van á sus polos respectivos á través del amianto. Con solucion de sulfato de potasa, el ácido se halla en un vaso y la potasa en el otro: con solucion de nitrato de plata en el vaso positivo, la plata en estado metálico pasa por el amianto al vaso negativo. Si se toman tres vasos comunicantes con hilos de amianto, y en el intermedio se pone una solucion salina, y en los otros dos agua destilada, el ácido y la base pasan á su respectivo electrodo por los hilos de amianto. Poniendo disolucion de amoniaco en el vaso intermedio, sulfato de potasa en el vaso que comunica con el electrodo negativo y agua destilada en el otro vaso comunicante con el electrodo positivo, la potasa queda en el vaso negativo, y el ácido sulfúrico pasa al otro vaso extremo á través del amoniaco, sin combinarse con él, no obstante su grande afinidad.

CAPÍTULO XVII.

DE LA METALURGIA GALVÁNICA.

1032. La descomposicion, que sufren las sales por efecto de la corriente voltaica, ha dado orígen á la *metalurgia galvánica*, ó al arte de hacer precipitar los metales de sus soluciones por la accion lenta de la corriente eléctrica. La primera idea dada en 1803 por Bruñatelli discípulo de Volta debió su perfeccion por lo que toca á la galvanoplastia ó sea la precipitacion del cobre en la produccion de medallas á Jacobi en Rusia en 1838, y por lo que toca á la doradura y plateadura á De la Rive, Elkington, Ruolz, y otros.

1033. Queriendo reproducir una medalla ú otro objeto, lo primero que se hace es un molde, que en vacío represente los perfiles del objeto. Este molde se puede hacer de una aleacion de 5 partes de plomo, 8 de bismuto y 3 de estaño. Cuando la aleacion derretida está para solidificarse, se hace caer sobre ella desde una pequeña altura la medalla en plano, dejándola hasta que la aleacion esté enteramente fija; entónces un pequeño golpe basta para separar la medalla. El molde se pone en contacto con un hilo de cobre, y todo lo que no debe recibir el depósito de cobre se cubre con una ligera capa de cera. Sobre los bordes del vaso, que contiene una solucion concentrada

de sulfato de cobre, se ponen dos baquetillas metálicas, que comunican, la una con el polo positivo, y la otra con el negativo de un elemento de Bunsen ó de Daniell; y de la baqueta negativa se suspende el molde, y de la otra una lámina de cobre, que al mismo tiempo que cierra el circuito, sirve para mantener concentrada la solucion; porque el oxígeno y el ácido libre la atacan, y disuelven en cantidad igual, al cobre que precipita de la solucion.

1034. Para la doradura galvánica, lo primero que se hace es recocer la pieza, que debe dorarse, para quitarle la materia grasa, que pudiera contener: luego si la pieza es de cobre, se le debe quitar una capa de protóxido y bióxido de cobre,de que se cubrió, recociéndola, lo que se obtiene sumergiéndola aun caliente en el ácido nítrico muy aguado, luego se lava con agua pura, y se pasa por un momento á otro baño formado de ácido nítrico y ácido sulfúrico en pesos iguales, en seguida se pasa á un tercer baño de ácido nítrico y un poco de cloruro sódico, y finalmente se lava en agua destilada, desde la cual se introduce, sin dejarla en el aire, á la solucion de oro, suspendiéndola al polo negativo de una pila de Daniell ó de Bunsen de 3 ó 4 elementos, y se la deja en la solucion mas ó menos tiempo, segun que se quiere un depósito mas ó menos grueso. Al polo positivo se suspende una lámina de oro, para conservar la solucion en el mismo estado de concentracion. El mismo método se sigue para la plateadura galvánica, con la diferencia que la pila no debe ser tan fuerte, y por electrodo positivo se pone una lámina de plata.

1035. La solucion que se usa ordinariamente para dorar, se compone de un gramo de cloruro de oro y 10 gramos de cianuro de potasio disueltos en 200 gramos de agua. La solucion de plata suele componerse de 2 gramos de cianuro de plata y 10 gramos de cianuro de potasio disueltos en 250 gramos de agua.

1036. Descomponiendo las sales con la pila, se pueden obtener sobre láminas metálicas unos colores sumamente brillantes, los cuales resultan de capas metálicas muy delgadas, que se depositan sobre dichas láminas. A este efecto en el fondo de un vaso, que contiene una solucion de cuatro partes de potasa en 10 de agua, en la cual se ha disuelto con el calor el óxido de plomo ó bien una solucion de acetato de plomo ó de sulfato de cobre, se coloca una lámina metálica comunicante con el polo negativo de una pila débil, y se cierra el circuito con un electrodo de platino fijo al polo positivo. Este electrodo se sumerge perpendicularmente á la lámina negativa, de modo que le esté muy cerca. Los colores producidos varian segun la naturaleza de la solucion, y de las láminas, sobre que se forman.

CAPÍTULO XVIII.

EFECTOS MAGNÉTICOS PRODUCIDOS POR LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS.

1037. Cuando se hace pasar la corriente por un conductor puesto sobre un iman libre, este se aparta de su posicion, y toma otra, que se acerca tanto mas á la direccion perpendicular al conductor, cuanto mas intensa es la corriente. Si la corriente en el conductor va de Sur á Norte, el polo austral del iman desvia á izquierda; y á derecha, si la corriente va de Norte á Sur. Las desviaciones son en sentido opuesto, si el conductor está debajo del iman. Imaginando que un observador se coloca de cara á la aguja magnética en la direccion de la corriente, y que esta le entre por sus piés y salga por la cabeza, el polo austral del iman siempre se desviará hácia la izquierda del observador. Esta accion de la corriente sobre los imanes descubierta por Œrsted en 1819, es la base del electro-magnetismo.

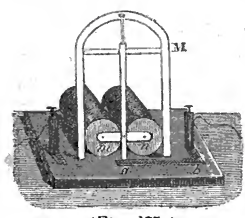
1038. Revolviendo el conductor de modo que pase por encima y por debajo del iman suspendido por un hilo de seda, resultan cuatro acciones de la corriente sobre el iman, que todas tienden á hacerlo desviar en el mismo sentido. Por lo que si el hilo conductor da muchas vueltas encima y debajo del iman, se podrá obtener una desviacion muy notable. El aparato así construido se llama *galvanómetro* ó *reómetro* inventado por Schweigger, y sirve para observar la existencia, direccion, é intensidad de las corrientes. Muchas veces en vez de un solo iman, se hace uso del sistema astático de dos imanes puestos el uno dentro los círculos del conductor, y el otro encima, para que queden fuera de la influencia de la tierra.

1039. Enrollando sobre un tubo de vidrio un hilo conductor en forma de espiral, y colocando en el interior del tubo una barrita de acero, esta queda en un instante fuertemente imantada, al pasar la corriente por el conductor. Lo mismo se observa si se descarga una botella de Leiden, poniendo uno de los cabos de dicho hilo en comunicacion con la armadnra exterior, y el otro con la interior. Si el hilo se enrolla de izquierda á derecha por encima, la espiral se llama *dextrorsum;* y si al revés, *sinistrorsum.* En la primera el polo boreal de la barrita imantada está siempre á la extremidad por donde entra la corriente; en la segunda está el polo austral.

1040. Se llaman *electro-imanes* las barras de hierro dulce, que se magnetizan bajo la influencia de una corriente eléctrica. A veces se dispone el electro-iman á manera de herradura de caballo, y en sus dos brazos se enrolla un hilo de cobre cubierto de seda de modo que

haga muchos giros, siempre en un mismo sentido, para que los extremos del electro-iman sean los polos de nombre contrario. La energía de estos imanes es muy considerable, y depende de las dimensiones de la barra, de la fuerza de la corriente, y de la longitud y grueso del hilo de cobre. Aplicando una *áncora* de hierro dulce á los polos, se pueden sostener de estos imanes, centenares, y millares de libras de peso : pero pierden inmediatamente su virtud, al interrumpirse la corriente, que pasaba por el hilo conductor.

1041. Por medio de los electro-imanes se puede abrir y cerrar automáticamente el circuito voltaico (fig. 175). Al efecto se dispone el áncora *mn* de hierro dulce, de modo que pueda oscilar entre una chapita *ab* de platino, que comunica con uno de los reoforos de la pila, y los polos del electro-iman ; uno de los cabos de la hélice se pone en comunicacion con el áncora, y el otro con el otro reoforo. Cerrando el circuito, el electro-iman tira al áncora, é interrumpiéndose así la corriente, cesa de tirarla, y además un resortito M la empuja otra vez sobre la chapita de platino, para ser tirada de nuevo y luego rechazada. Como este movimiento oscilatorio es tan rápido, los choques sucesivos, que sufre el áncora, producen un sonido, que se hace mas ó menos agudo, mas ó menos intenso, segun que se la separa mas ó menos del electro-iman, ó se la aprieta con mas ó menos fuerza con el resorte : y en esto consiste el aparato llamado *sirena eléctrica*.



(Fig. 175.)

CAPÍTULO XIX.

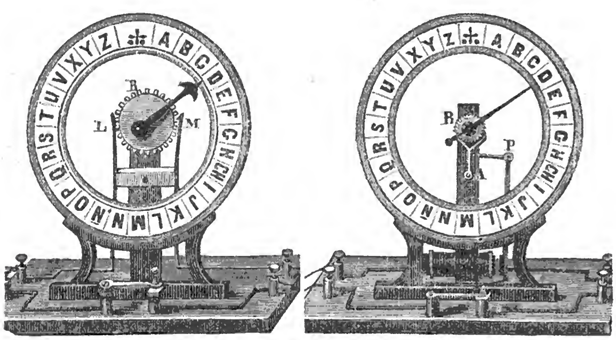
TELEGRAFÍA ELÉCTRICA.

1042. Entre las innumerables aplicaciones de los electro-imanes, una de las mas importantes es la que se ha hecho á los *telégrafos eléctricos*, que son unos aparatos destinados á trasmitir señales á cualquiera distancia por medio de corrientes eléctricas, que pasan á lo largo de hilos metálicos. Muchas formas hay de estos telégrafos, pero bastará dar una idea del telégrafo de cuadrante debido á M. Froment, y del telégrafo escribiente de Morse.

1043. Todo telégrafo eléctrico consta de dos partes, que son el *manipulador* destinado á trasmitir las señales, y el *receptor* que las recibe. El manipulador comunica con una pila por una parte, y por

otra con el receptor, por medio de hilos metálicos, y la corriente desde el receptor vuelve por otro hilo al polo negativo de la pila, ó bien se hace internar en la tierra, donde se pierde.

1044. En el telégrafo *de cuadrante* (fig. 176), tanto el manipulador como el receptor llevan un índice sobre una muestra, en que están señaladas las letras del alfabeto, y una cruz. El que trasmite una noticia mueve con la mano el índice del manipulador y con él se mueve una rueda dentada metálica R, sobre cuyos dientes por una parte se apoya una laminita de cobre L, que comunica con el polo positivo de la pila, y por la otra parte los dientes llegan á tocar sucesivamente otra laminita M unida al hilo conductor, que va al receptor, produciéndose una interrupcion de un diente á otro. En el receptor hay un electro-iman horizontal, que activado por la corriente tira el áncora unida á un brazo de una palanquita P de primer órden, y el otro brazo de la palanca mueve otra áncora A cuyo movimiento de vaiven hace girar la ruedecita B, que lleva el índice. Girando pues el índice del manipulador, á cada diente se interrumpe la corriente, y así el electro-iman del receptor deja de atraer el áncora, la cual empujada por un pequeño resorte, se separa un poco



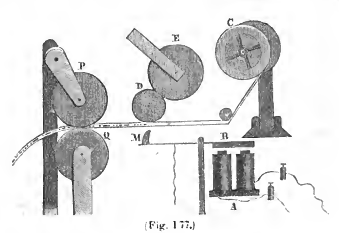
(Fig. 176.)

del electro-iman. Por lo que el índice del receptor gira ó se para, segun que gira ó se para el índice del manipulador. Colocados pues los índices una vez sobre la señal cruz, señalarán luego las mismas letras, y así se podrá trasmitir una noticia cualquiera, haciendo una pequeña pausa sobre la letra, que se quiere indicar.

1045. Si en el decurso de la comunicacion, copiando las señales se ha cometido algun error, como no queda rastro alguno del des-

pacho comunicado con el precedente sistema, no hay medio de rectificarlo. Además para ir de una señal á otra, es menester, que el índice pase por todas las intermedias. Finalmente no se puede preparar el despacho de antemano, y conviene que siempre haya una persona destinada á recibirlo en cualquiera hora, que se trasmita. Todos estos y otros inconvenientes cesan con el telégrafo escribiente inventado por Morse con las últimas mejoras, que se le han dado. He aquí su descripcion.

1046. El receptor se compone de un electro-iman A (fig. 177), cuya áncora B hace parte de una palanca, que en su brazo opuesto lleva un martillito M, el cual, cuando el iman tira al áncora, levanta una faja de papel, contra un disco muy estrecho D de unos 8 ó 10 milímetros de diámetro móvil al rededor de su centro, y cuyo contorno está contínuamente mojado de tinta por medio de otro disco E. La faja de papel enrollada en un cilindro C va desplegándose por la ac-



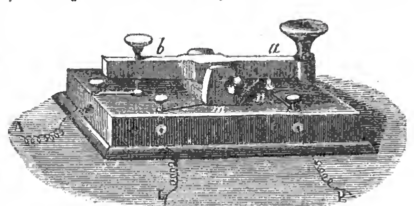
(Fig. 177.)

cion de los dos cilindros P y Q, que la aprietan como en el laminador, los cuales reciben su movimiento de un peso por medio de un sistema de ruedas dentadas como en los relojes. Si el martillo levanta por breve tiempo el papel, en este se pinta un punto; y si está mas tiempo, se imprime una raya. Con las combinaciones de puntos y rayas se representarán las letras del alfabeto, y estas combinaciones se producen arbitrariamente con un manipulador ingenioso debido á M. Garnier.

1047. Este manipulador consiste en un cilindro de cobre de 18 centímetros de diámetro, y de 25 de longitud montado sobre un eje en forma de tornillo de largo paso, el cual girando se introduce en un agujero fijo. Sobre la superficie del cilindro hay una línea en espiral

que tiene unas 2000 ó mas aberturas pequeñas longitudinales, paralelas al eje, en las cuales se fijan unos cubitos de cobre, que sobresalen de 2 milímetros, de modo que puestos todos los cubos sobre la espiral, resulta una línea contínua relevada sobre la superficie. Debajo del cilindro y al principio de la espiral hay una laminita fija, comunicante con el conductor que va al receptor, la cual tocan todos los cubos sucesivamente girando el cilindro. Así pues la corriente pasará desde la pila al cilindro, y de este por la laminita que tiene á contacto irá al receptor, donde pondrá en accion al electro-iman. Pero si se hace desviar algun cubo de la espiral, allí se interrumpirá la corriente, girando el cilindro: por lo que el contacto de un solo cubo con la laminita determinará en el receptor un punto en el papel, y el contacto de dos cubos producirá la impresion de una raya: y así bastará de antemano disponer las interrupciones de los cubos de modo, que resulten las combinaciones de puntos y rayas que requiera el despacho, y poner el cilindro en movimiento por medio de un aparato de relojería que le haga girar, y el despacho arreglado en el manipulador se irá trasmitiendo al receptor.

1048. No pocas veces el manipulador consiste simplemente en una palanquita *ab* (fig. 178). Debajo del brazo *a* hay un apéndice metálico, por el cual entra la corriente de la pila venida de P, y pasa al eje *m* para ir por el hilo L de la línea al receptor. Cuando este manipulador no está en accion entonces el brazo *b* está rebajado, y la corriente que viene de la línea puede pasar desde el eje al apéndice *n*, de donde pasa al hilo A que la conduce al receptor de la misma estacion.

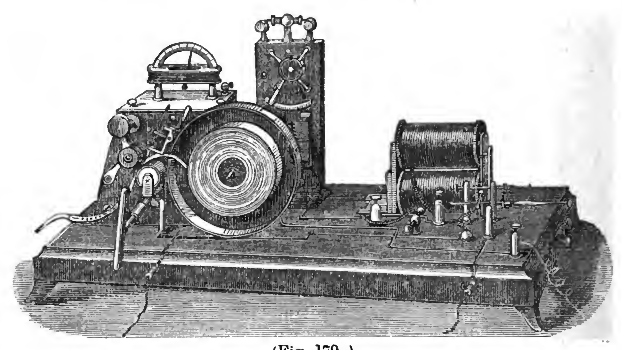


(Fig. 178.)

1049. Ordinariamente no es la corriente de la línea la que mueve el receptor, sino otra local, pues aquella llegando muy debilitada, no podria mover las piezas, que es necesario mover. Al efecto sirve un aparato llamado *relevo*, que consiste en un electro-iman, que activado por la corriente de la línea tira el áncora fija al brazo de una palanquita muy ligera de primer órden: el hilo del receptor comunica con el eje de la palanca, y así al ser tirada el áncora, el otro brazo llega á contacto de una pieza metálica comunicante con el polo positivo de la pila local, dando así paso á la electricidad para ir al receptor, de donde vuelve á la pila.

1050. Existen otros telégrafos llamados *electro-químicos*. El apa-

rato está de tal modo dispuesto que la corriente que viene del manipulador pasa á una laminita de cobre que se apoya sobre la faja de papel mojado de antemano en una solucion de 150 gramos de nitrato de amoniaco y 5 de cianuro amarillo de hierro y potasio en 100 de agua que le da la humedad necesaria para conducir la corriente á uno de los cilindros que la tira como en el aparato de Morse. Pasando la corriente, se descompone el cianuro, y el papel se tiñe en rojo al contacto de la laminita de cobre; pero no pasando la corriente, el papel no se colora, y así se pueden obtener puntos y rayas coloradas con el manejo del manipulador como en el telégrafo ya descrito de Morse. La fig. 179 muestra uno de estos telégrafos con varios adyacentes, como son un galvanómetro, un pararayos, etc.



(Fig. 179.)

1051. Pudiéndose aplicar el electro-iman de mil diferentes maneras, tambien se podrá producir por su medio el movimiento que se quiera: así es que se ha aplicado al movimiento de los relojes, á la imprenta, á toda clase de motores. Pero como el gasto que produce la pila es muy superior al gasto de combustible de las máquinas de vapor de igual fuerza, las máquinas electromotrices no se han podido aplicar á la industria. (a).

CAPITULO XX.

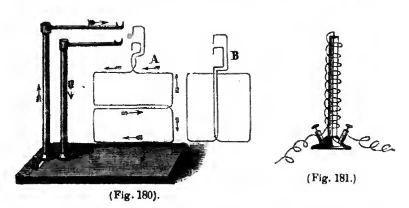
DE LA ACCION MÚTUA DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS.

1052. El objeto de la *electro-dinámica* es observar la accion, que las corrientes ejercen sobre sí mismas, y las leyes que siguen; cuyo

(a) Recientemente M. Giordano ha inventado un telégrafo eléctrico cuyo receptor produce el despacho en letras latinas.

descubrimiento hecho por Ampere fué una consecuencia del que habia hecho Œrsted relativo á la accion de la corriente sobre la aguja magnética. Estas acciones se observan por medio de las atracciones y repulsiones, que se manifiestan en los conductores, por donde pasan las corrientes.

1053. 1.° *Dos corrientes se atraen mutuamente, si ambas se acercan á un punto ó á una línea, ó á un plano, ó se apartan de él; se rechazan si mientras la una se acerca al punto, ó línea ó plano, la otra se aleja.* 2.° *Dos corrientes se atraen ó rechazan con igual fuerza, segun que van en el mismo ó en opuesto sentido.* 3.° *La accion de una corriente sinuosa es igual á la de una rectilínea, que se separa poco de ella.* 4.° *Las partes consecutivas de una misma corriente se rechazan.* Estas leyes se observan con el aparato llamado *electro dinámico* (fig. 180), que se compone esencialmente de dos conductores puestos en comunicacion con los polos de la pila, los cuales están terminados por unos vasitos de



(Fig. 180).

(Fig. 181.)

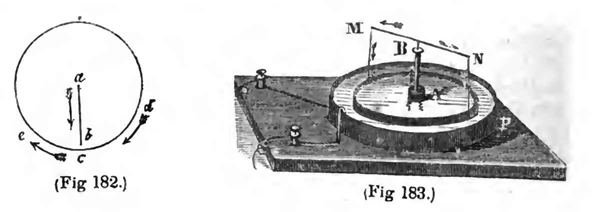
modo, que el uno esté debajo del otro: á estos vasitos se suspende por sus extremidades un conductor, que tiene la forma de la corriente que quiere observarse. Por medio de otro conductor introducido en el circuito, y que se tiene con la mano para acercarlo al conductor móvil, se observan las diferentes partes de la primera ley. Los conductores móviles que se suspenden suelen tener la forma A y B y toman el nombre *conductores astáticos.*

1054. La segunda ley se demuestra doblando sobre sí mismo un conductor, que entonces no produce efecto alguno sobre los conductores móviles. La tercera se verifica (fig. 181), introduciendo el hilo conductor en un tubo, y girándolo en hélice sobre el mismo tubo. Tampoco produce efecto alguno sobre los conductores moviles. Para observar la cuarta, se pone mercurio en un vasito dividido en dos compartimientos por medio de una separacion aislante rectilínea, y

las dos partes se ponen en comunicacion con un pequeño arco conductor, que se aisla cubriéndolo de seda, menos en sus cabos, los cuales se doblan paralelamente á la separacion. Puesto el conductor encima del mercurio, y las dos partes de este comunicando con los polos de la pila, al entrar la corriente por una parte y salir por otra, el conductorcito se aleja paralelamente á sí mismo.

1055. Estas atracciones y repulsiones facilmente pueden trasformarse en movimiento de rotacion. En efecto sea *dce* (fig. 182) una corriente horizontal fija y circular, y *ab* otra rectilínea y móvil al rededor del punto *a*. Las corrientes *ab* y *dc* atrayéndose, el conductor *ab* girará desde *c* hácia *d*, al cual efecto conspira tambien la repulsion de las corrientes *ab* y *ce*. Si en el conductor móvil, ó en el fijo cambia la direccion de la corriente, la rotacion se verificará en sentido opuesto.

1056. Para producir esta rotacion, se enrolla al rededor de un vaso de vidrio, (fig. 183) un hilo de cobre cubierto de seda, que por una de sus extremidades comunica con la pila, y por la otra con la parte inferior de una pequeña columna AB de cobre colocada en el centro del vaso. La parte superior de la columna termina en un vasito de mercurio, en el cual se sumerge una punta de hierro, que lleva un hilo conductor MN, que sostiene una fajita de cobre en forma



(Fig 182.)

(Fig 183.)

de anillo sumergida en el agua acidulada puesta en el vaso de vidrio. Introduciendo en esta solucion el otro roóforo de la pila, el conductorcito móvil empieza á girar al rededor de su punto de suspension; y cambiando la direccion de la corriente, el conductor toma un movimiento en sentido opuesto.

1057. Se llama *Solenoide* un sistema de corrientes circulares iguales y paralelas formadas por un hilo de cobre cubierto de seda enrollado sobre si mismo en forma de hélice, cuyas extremidades están dobladas en el sentido del eje hasta su punto medio, y por ellas se puede suspender el solenoide al aparato *electro-dinámico*.

1058. Cuando pasa la corriente por el solenoide suspendido por su centro, se observa que se coloca en una posicion perpendicu-

lar á un conductor rectilíneo colocado horizontalmente debajo de él, y además sus corrientes se disponen en el mismo sentido, que en el conductor rectilíneo. Si este se coloca verticalmente, entonces hay atraccion ó repulsion, segun que las corrientes del hilo ó del solenoide en las partes mas cercanas van en un mismo sentido, ó en sentidos opuestos.

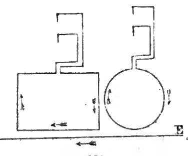
1059. Si un solenoide fijo se hace obrar sobre otro solenoide móvil suspendido por su centro, las extremidades de estos solenoides se atraen ó rechazan entre sí, como si fuesen dos imanes, segun la direccion de sus corrientes: por lo que estas extremidades toman el nombre de *polos*.

CAPÍTULO XXI.

DE LA ACCION DEL GLOBO TERRESTRE SOBRE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS.

1060. *El globo terrestre ejerce una accion sobre las corrientes eléctricas, como si á su rededor girasen tambien corrientes eléctricas de Este á Oeste, normales al meridiano magnético, y tanto mas fuertes cuanto mas cercanas están al ecuador magnético.* Para observar esta accion se suspenden de los vasitos del aparato electro-dinámico los conductores de la fig. 184, y se ven dirigirse por sí mismos á una posicion normal al meridiano magnético, y en tal disposicion, que la corriente va de Este á Oeste por su parte inferior, como si debajo de él hubiese otro conductor fijo atravesado por una corriente en esta direccion.

1061. Esta misma accion se puede observar con el *anillo electrodinámico* de Volta; que consiste en un hilo conductor en forma de anillo, á uno de cuyos extremos se fija una laminita de zinc; y al otro otra de cobre puestas muy cercanas. Suspendido el anillo por un hilo de seda, de modo que queden sumergidas las láminas en el agua acidulada, el anillo se pone por sí mismo en un plano normal al meridiano magnético, y de manera que la parte del conductor por donde baja la corriente, se halla de la parte del Este.

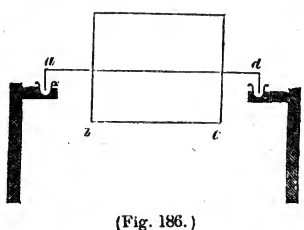


(Fig. 184.)

1062. Sean dos vasos A y B (fig. 185), atravesados por una varilla metálica que remata en un vasito C lleno de mercurio, en donde se suspende por una punta un sosten aislante DE, á cuyos extremos se fijan dos conductorcitos, que por sus extremos se sumergen en el agua acidulada puesta en los vasos A y B. Dos pequeños hilos metálicos *m*, *n* ponen en comunicacion la varilla con el agua acidulada del vaso superior A. Poniendo uno de los reóforos de la pila en contacto con la varilla, y el otro con el agua acidulada del vaso inferior B, se establece la corriente en todo el aparato. Si la corriente pasa por los dos hilos del sosten aislado móvil, este queda astático, por que los efectos de las corrientes que pasan por ellos son diametralmente opuestos ; pero si la corriente pasa solamente por uno de ellos, lo que se consigue, doblando el extremo del otro, para que no toque el agua acidulada, entonces el sosten móvil se pone en una direccion normal al meridiano magnético, y el conductor atravesado por la corriente queda al Este ó al Oeste, segun que la corriente baja ó sube por él.

(Fig. 185.)

1063. Suspendiendo en el aparato electro-dinámico el conductor móvil *abcd* (fig. 186), de modo que su plano quede perpendicular al meridiano magnético, se ve que dicho conductor se inclina por la parte inferior hácia el Ecuador, si la corriente baja por la parte del Este; y se inclina hácia el Norte, si la corriente baja por la parte del Oeste: lo que comprueba la tercera parte de la ley anunciada.



(Fig. 186.)

1064. Por efecto de esta accion puede producirse el movimiento giratorio de un conductor móvil suspendido por su centro. Para esto en el aparato de la figura 182 en el vasito de mercurio C se suspende por una punta un conductorcito horizontal, cuyas extremidades encorvadas tocan el agua acidulada puesta en el vaso P. Pasando la corriente desde la varilla por el conductor al agua acidulada, ó como se suele decir desde el centro á la circunferencia, dicho conductor empieza á girar de Oeste á Este por la parte del Sur, y al revés, si la corriente va de la cir-

cunferencia al centro, esto es desde el agua acidulada á la varilla á través del conductor.

1065. Finalmente suspendiendo un solenoide del aparato electro-dinámico, siempre se pone como un iman en el plano del meridiano magnético, de modo que todas sus corrientes circulares son perpendiculares á dicho meridiano, y se dirigen de Este á Oeste por su parte inferior, y removido de esta posicion, vuelve á ella por sí mismo: por lo que el polo del solenoide, que se dirige hácia el norte de la tierra, tomo al nombre de *polo austral*, y el opuesto el de *polo boreal*.

1066. Todos estos fenómenos se explican facilmente, admitiendo corrientes eléctricas al rededor de la tierra de Este á Oeste, y tanto mas fuertes, cuanto mas cercanas están al ecuador magnético; pues en esta hipótesis la posicion que toman los conductores móviles y su movimiento, son una consecuencia necesaria de la ley fundamental electro-dinámica de las corrientes eléctricas (1053).

CAPÍTULO XXII.

ACCION MÚTUA DE LOS IMANES Y DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS.

1067. La accion mútua de los imanes y de las corrientes eléctricas constituye la parte de la electro-dinámica, que se llama *electro-magnetismo*, que ha difundido tanta luz sobre la naturaleza de los movimientos magnéticos, y tellurico-magnéticos.

1068. *La accion que un iman ejerce sobre una corriente, es como si al rededor del iman girase una corriente eléctrica dirigida de Este á Oeste por su parte inferior, cuando el iman está en su posicion natural.* Para observar esta accion se coloca el conductor móvil de la figura 186 en el aparato electro-dinámico, y se le acerca un iman con la mano; dicho conductor es atraido ó rechazado segun la ley fundamental expuesta en el número 1053. Suspendiendo un solenoide, este es atraido ó rechazado, segun que sus polos son de diferente ó del mismo nombre que los del iman; de modo que sucede lo mismo que si el iman fuese un solenoide, ó este fuese un iman. Suélese tambien observar esta acion por medio del *anillo de Volta*, que se hace flotar en el agua acidulada con un corcho, á través del cual pasan sus laminitas de zinc y de cobre: presentándole un iman, el anillo se aleja si las corrientes de ambos van en sentido contrario; pero si van en el mismo sentido, el anillo se acerca hasta meterse en el iman, parándose en su punto medio. En vez del anillo, puede ponerse un solo hilo conductor de una forma cualquiera, ó disponerlo como un conductor astático, ó bien como un solenoide; el efecto es siempre el mismo.

1069. Por medio de los imanes se puede tambien obtener de diferentes modos el movimiento rotatorio de un conductor móvil. 1.° Con el molinete de Barlow que consiste en una rueda dentada de cobre (fig. 187), cuyos dientes se sumergen medio milímetro en un vasito de mercurio A : un iman BCD en forma de herradura de caballo se coloca de modo, que la rueda pase entre sus polos. Poniendo el eje de la rueda en comunicacion con un polo de la pila, y el mercurio con el otro polo, la rueda empieza á girar segun la ley electro-dinámica; y cambiando la direccion de la corriente, la rueda toma un movimiento contrario. 2.° Sobre los extremos de un iman en forma de U (fig. 188), se colocan dos conductorcitos móviles *m* y *n* cuyos extremos tocan ligeramente la superficie del mercurio puesto en las pequeñas cavidades circulares de ébano *a*, y *b*, que se ponen en comunicacion con los polos de la pila. Entrando la corriente por *a*, sube por

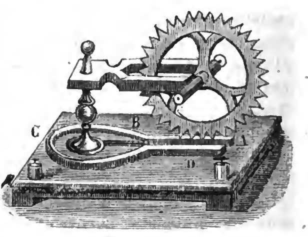


Fig. 187.)

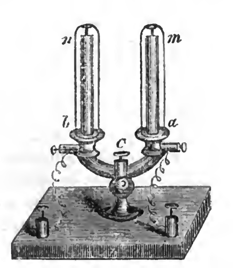
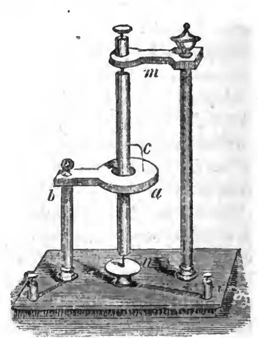


Fig. 188.)



(Fig. 189.)

el conductor *m*, pasa por el iman *c* como buen conductor, y baja por el conductor *n* al vaso *b*. Los dos conductorcitos *m* y *n* giran al rededor del iman; y haciendo entrar la corriente por *b*, giran en sentido opuesto.

1070. La accion de una corriente fija sobre un iman móvil puede tambien producir la rotacion del mismo iman. Equilíbrese un iman *mn* (fig. 189) que lleva un alambrito *c* de platino, cuya punta toca la

superficie de mercurio puesto en un vasito circular *a* en forma de anillo. Haciendo entrar la corriente por el vasito de mercurio *n*, sube por el iman como buen conductor, pasa al vasito *a*, y vuelve por *b* á la pila: el iman comienza á girar; el movimiento se produce en sentido opuesto, invirtiendo la direccion de la corriente.

1071. Muy notable es la rotacion del mercurio por la accion mútua de las corrientes y de los imanes. A través del fondo de un vaso aislante se hacen pasar dos alambres de cobre ó de platino, que se cubren de cera menos las puntas; se llena el vaso de mercurio hasta cubrir dichas puntas, y se ponen los alambres en comunicacion con los polos de la pila. Si esta es suficientemente enérgica, desde que la corriente está establecida, la superficie de mercurio se eleva sobre las puntas en forma de cono, de cuyos vértices parten multitud de olas metálicas en todas direcciones. Acercando entonces un iman á uno de los conos, este se deprime, y su base se ensancha; hasta que poniéndose plana la superficie, el mercurio toma un movimiento de rotacion al rededor del alambre, cuya velocidad aumenta con la fuerza del iman, y su direccion es segun la ley electro-dinámica. Si el iman se coloca á igual distancia de los alambres, la rotacion cesa, y se establecen dos corrientes una á derecha y otra á izquierda del iman. Acercando mucho el iman al vértice del cono, el mercurio toma la forma de embudo. Si los alambres en vez de pasar por el mercurio se fijan en los bordes del vaso, de modo que sus puntas toquen la superficie, el mercurio se deprime delante de ambas puntas.

CAPÍTULO XXIII.

CORRIENTES TERMO-ELÉCTRICAS.

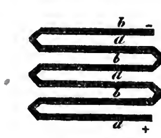
1072. Llámanse *corrientes termo-eléctricas* las que se producen en un circuito enteramente metálico por efecto del calor, sin intervencion alguna de líquidos. Estas corrientes descubiertas por Seebek en 1821 se pueden observar, soldando los extremos de una lámina de cobre con los de otra de bismuto, y formando con ellas como un rectángulo, de modo que las soldaduras estén en los dos ángulos opuestos; se interpone una aguja imantada que puede girar libremente al rededor de su centro, la cual se desvia luego, que se calienta una de las dos soldaduras, indicando su nueva posicion, que la corriente desarrollada por el calor va del cobre al bismuto por la soldadura fria.

1073. El *poder termo-eléctrico* de los metales, de que depende la intensidad de la corriente, varia segun su naturaleza. Los siguientes metales están puestos en tal orden, que el precedente es negativo con relacion al siguiente: bismuto, platino, plata, estaño, plomo, cobre, oro, zinc, hierro, antimonio. Además en un mismo metal la intensidad de la corriente aumenta con la diferencia de temperatura

de las dos soldaduras; como puede verificarse, conservando una soldadura á una temperatura constante, por ejemplo á cero, y calentando mas y mas la otra.

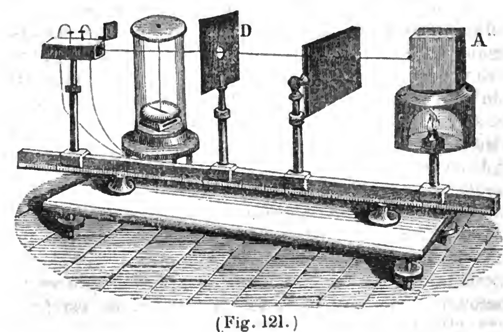
1074. La corriente termo-eléctrica se desarrolla tambien en circuitos de un solo metal, con tal que se impida que el calor se propague igualmente en todos sentidos. Tomando un hilo metálico en forma de espiral, ó haciendo en dicho hilo un nudo y calentándolo con la llama de alcohol cerca del nudo, se produce una corriente dirigida hácia el mismo nudo ó espiral es de la parte calentada. Tambien se obtiene la corriente con hilos contínuos de una misma sustancia, sin nudo ni espiral, con tal que no tengan el mismo grado de temple en todas sus partes: pero jamás se obtiene con un hilo de una perfecta homogeneidad. Así pues el fenómeno debe atribuirse á la desigual propagacion del calor en los metales.

1075. Puédese formar una *pila termo-eléctrica*, soldando alternativamente dos metales, y doblándolos de modo, que todas las soldaduras alternadas estén hácia una misma parte, como se ve en la figura 190, para poderlas asi calentar, sin calentar las opuestas. Con esta disposicion, en un pequeño volúmen se puede colocar un gran número de pares ó elementos, los cuales se aislan entre sí por medio de papel barnizado, y se encierran en un tubito de laton, de modo que únicamente son visibles las soldaduras por uno ú otro extremo. A la primera barrita y á la última se les sueldan dos alambritos de cobre, que sirven de roóforos. Ordinariamente suele construirse esta pila con barritas de bismuto y antimonio.



(Fig. 190.)

1076. Las corrientes termo-eléctricas tienen una tension sumamente débil, y por esta razon no pueden ser conducidas, ó muy poco



(Fig. 121.)

por los líquidos. Así pues tampoco se pueden obtener efectos químicos. Por la misma razon se debilitan muchísimo atravesando circuitos muy largos; por lo que para observar su accion directriz en el galvanómetro, conviene que el circuito esté formado de un hilo corto y algo grueso, mientras que para las corrientes hidro-eléctricas es necesario que el hilo sea delgado y largo.

1077. Puestos los roóforos de la pila termo-eléctrica en union con el galvanómetro, como se ve en la fig. 121 el aparato toma el nombre de *termo-multiplicador*, siendo sumamente sensible á cualquiera mínima impresion de calor, y por esta razon sirve muy ventajosamente para observar los fenómenos y leyes del calórico radiante de los cuerpos, y su trasmision, aun con focos de calor muy débiles.

CAPÍTULO XXIV.

DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS INDUCIDAS POR OTRAS.

1078. Llámanse corrientes *por induccion*, las que se desarrollán en los cuerpos metálicos por la influencia de corrientes eléctricas, ó de imanes, ó de la misma tierra. Estas corrientes inducidas fueron descubiertas por Faraday en 1831, y se observan con el siguiente aparato ú otro análogo. Sobre un disco de vidrio se enrolla en forma de hélice un hilo de cobre, cubierto de seda, de dos milímetros poco mas ó menos de diámetro; los extremos del hilo pasan á través del vidrio, el uno en el centro, y el otro donde acaba la hélice. Sobre otro disco de vidrio se adapta otra semejante espiral, pero de un diámetro mucho menor, á cuyos extremos se unen dos empuñaduras metálicas, que se sostienen con las manos. Para mejor aislar las espirales, se cubren tambien de goma laca. Poniendo en comunicacion los extremos de la primera espiral con una botella de Leiden ó con los polos de una pila, se desarrolla en el hilo mas fino una corriente instantánea, que produce una conmocion, cuya intensidad es tanto mayor, cuanto mas cercanas están entre sí las dos espirales.

1079. Enrollados dos hilos metálicos forrados de seda sobre un tubo de carton, se ponen los extremos del uno en comunicacion con la pila, y los extremos del otro con el galvanómetro. La aguja sufre una desviacion instantánea al momento de cerrarse el circuito de la pila; pero quedando cerrado vuelve la aguja á su primitiva posicion despues de algunas oscilaciones: al abrir el circuito vuelve á desviarse en sentido opuesto. Luego las corrientes inducidas en el segundo hilo son instantáneas ó pasageras, y se desarrollan solo al cerrar y abrir

el circuito. Además la desviacion de la aguja hace ver, que la corriente inducida, al cerrarse el circuito, va en sentido contrario de la corriente inductriz de la pila, y la inducida al abrirse, va en el mismo sentido, que la de la pila. Un solo elemento de Bunsen basta para observar estas corrientes inducidas , cuya intensidad aumenta con la longitud del hilo inductor, y con la fuerza de la pila.

1080. Introduciendo en el interior del tubo de carton un cilindro de hierro dulce , la desviacion de la aguja es incomparablemente mas fuerte, que sin el; lo que evidentemente se debe atribuir á las corrientes inducidas en el hierro dulce por la corriente de la espiral, pues estas corrientes están dirigidas en el mismo sentido que la del hilo inductor, y asi deben aumentar su efecto.

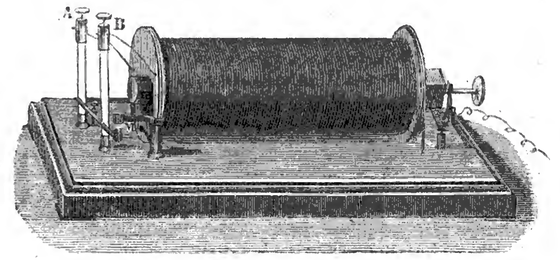
1081. Las corrientes inducidas, aunque pasageras, son capaces de producir todos los efectos de las corrientes ordinarias, con esta diferencia, que la inducida al principio produce mucho mejor los efectos luminosos y caloríficos, y la inducida al fin produce los efectos fisiológicos y magnéticos con mas intension. Ambas corrientes desvian igualmente la aguja del galvanómetro.

1082. Cuando se cierra el circuito por medio de un hilo muy largo enrollado en forma de hélice, se observa, que las espirales de la hélice producen una accion, las unas sobre las otras, por cuyo efecto se obtiene una corriente mucho mas intensa. Además si se tienen con la mano dos empuñaduras metálicas introducidas en la corriente, al abrir el circuito se experimenta una fuerte conmocion debida á una corriente instantánea, que se llama *extra-corriente*, producida en el momento mismo, que se interrumpe el circuito metálico. Segun M. Abria la intensidad de la extra-corriente es igual á 0,72 poco mas ó menos de la intensidad de la corriente principal.

1083. Las corrientes inducidas pueden tambien desarrollar otras corrientes inducidas sobre otros circuitos cerrados, y asi tenerse corrientes inducidas de diferentes órdenes; en cada uno de los cuales las corrientes son alternativamente de sentido contrario, y su intensidad decrece á medida que pertenecen á un órden superior.

1084. Entre los aparatos de induccion, el de *Ruhmkorff* es el que produce con mas intensidad los efectos eléctricos. Este aparato (figura 191) consiste en un cilindro ó bobina horizontal, en que se han enrollado dos hilos de cobre perfectamente aislados, el uno de unos dos milímetros de diámetro, cuyos extremos comunican con la pila, y que da unas 300 vueltas; el otro de un tercio de milímetro da unas 10,000 vueltas, y sus extremos terminan en dos columnitas A y B de vidrio. En el interior del cilindro hay un manojo de alambres de hierro dulce terminado por una plancha tambien de hierro dulce, que al imantarse por efecto de la corriente debe obrar sobre el áncora ó *interruptor* M, que forma parte del circuito, cuando no es atraido por

el electro-iman, pero que al ser atraido rompe el circuito, y así es otra vez separado del mismo electro-iman. Uno ó dos elementos de Bunsen bastan para que este aparato produzca efectos extraordinarios.



(Fig. 191.)

1085. Los efectos fisiológicos con el aparato descrito se experimentan, tocando las extremidades de las columnitas en que terminan los cabos del hilo fino, y que llamarémos *polos*. El solo contacto con el dedo causa una sensacion dolorosísima; pero las conmociones, que se sienten empuñando dos cilindritos metálicos puestos en contacto con dichos polos son tan violentas, que bastan á producir la muerte de un animal en breve tiempo. Igualmente se puede obtener la descomposicion del agua y de otras sustancias.

1086. Uniendo los polos de la corriente inducida con un hilo de hierro muy fino, al mismo tiempo que despide una luz muy viva se derrite, mostrando así su efecto calorífico; y si en cada polo se fija un alambrito muy fino, y luego se ponen en contacto los dos, solo se derrite el que corresponde al polo negativo; lo que manifiesta, que la tension eléctrica es mayor en este polo que en el otro.

1087. Los efectos luminosos ofrecen particularidades muy notables y sumamente variables, segun que los polos terminan en hilos gruesos ó delgados, en láminas limpias ó sucias, en superficies líquidas, en esencias ó aceites.

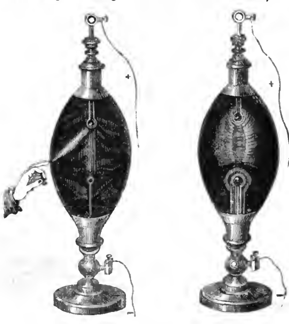
1088. En el aire con el aparato de 45 centímetros el chorro de luz llega á tener mas de 30 centímetros de largo. Este chorro compuesto de una ó mas líneas luminosas brillantes está envuelto por una at-

---

M. Ruhmkoff construye actualmente bobinas que tienen 22 centímetros de diámetro y 45 de longitud. El hilo grueso es de dos milímetros y medio de diámetro, y se arrolla dos veces en la bobina, pero el hilo fino de un quinto de milímetro de diámetro tiene una longitud de 15,000 metros, con lo que el aparato produce efectos los mas extraordinarios.

mósfera luminosa, que puede separarse del chorro por medio de un fuerte soplo ó corriente de aire; y si se observa dicha atmósfera con el microscopio se reconoce, que en el polo positivo forma un efluvio de color rojo, pero en el polo negativo forma una capa azul, quedando los colores separados por un intérvalo perfectamente oscuro.

1089. Hacieodo pasar la corriente inducida por el ioterior del huevo eléctrico (fig. 192.) despues de hecho el vacío se obtiene un chorro lumiooso, que toma uo gran desarrollo, el cual se puede hacer desviar hácia el vidrio acercando el dedo al huevo. El extremo de la varilla que comunica con el polo positivo da una luz roja brillante, eo el otro extremo la luz es morada y mas débil y se prolonga por toda la varilla. Pero si se ha hecho el vacío en el huevo despues de haber iotroducido vapor de trementina ó de otra sustaocia combustible, el chorro de luz se dispone en una serie de zonas alternativameote brillantes y oscuras algo redondeadas hácia cada varilla, como represen-

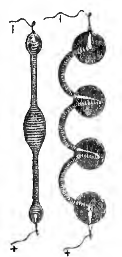


(Fig. 192.) (Fig. 193.)

ta la figura 193, lo que indica, que el chorro no es contínuo sino interrumpido, cuyas descargas son tanto mas cercanas, cuanto mas rápidamente oscila el interruptor. Las zonas parecen animadas en este caso de un doble movimiento rápido giratorio y ondulatorio, el cual desaparece, quedando las zonas bien determinadas y fijas, si con la maoo se hace oscilar lentameote el interruptor.

1090. El fenómeno de la estratificacion de la luz en los medios muy enrarecidos es tan curioso, que se ha buscado como producirlo con facilidad, y variarlo de muchas maneras. A este efecto Geisler inventó la construccion de unos tubos de vidrio, que llevan su nombre

mas ó menos estrechos, en los cuales se hace el vacío despues de haber introducido en ellos algun gas ó vapor. Por los extremos del tubo penetran dos hilos de platino, que conducen la corriente inducida. Con estos tubos no solo se observa la estratificacion, sino tambien las variaciones de color, que produce cada sustancia. Así si el vacío se ha hecho en un recipiente que contenia nitrógeno, la luz que emana del polo positivo es de un magnífico rojo carmesí. Si era hidrógeno el gas contenido en el recipiente la luz es de un blanco lilas, y si ácido carbónico la luz es verdosa. La figura 194, representa una serie de estos tubos, en los cuales la parte mas estrecha de cada uno está metida hasta el centro de la bola en que termina el inmediato. Pasando la luz por esta serie, en las esferas se forma una especie de cascadas luminosas.

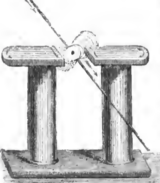


(Fig. 194.)

1091. La teoría de la estratificacion de la luz eléctrica, que tambien se reproduce con una corriente contínua ordinaria obtenida con una pila de Bunsen de muchos elementos, no está muy bien conocida, pero se atribuye á una variacion en la intensidad de la tension de la electricidad, que circula, y especialmente á la insuficiencia del cuerpo gaseoso á través del cual se hace pasar. Segun M. Du Moncel los efluvios de luz roja y azul que componen la atmósfera luminosa son el resultado de una conduccion secundaria de la corriente á través de los medios gaseosos enrarecidos. Este medio, al pasar la descarga discontínua de uno al otro conductor, experimenta una serie de atracciones y repulsiones, y se dispone en capas alternativamente dilatadas y condensadas, por las cuales, pasando la corriente inducida, se halla en las condiciones, en que se hallaria la corriente voltaica atravesando un conductor formado de trozos metálicos alternativamente delgados y gruesos; estos por razon de su conductibilidad quedarian oscuros, y aquellos se inflamarian por efecto de la resistencia, que en ellos encuentra la corriente. Así pues las zonas oscuras supondrianuna mayor conductibilidad en el gas y las luminosas una menor.

1092. Como los imanes ejercen su accion sobre las corrientes, así la ejercen sobre la atmósfera luminosa que envuelve la descarga al aire libre. Haciendo pasar el chorro de luz entre los polos de un electro-iman algo enérgico perpendicularmente á la línea que une sus polos, la atmósfera luminosa está proyectada bajo la forma de un arco de fuego ya encima, ya debajo de las superficies polares de electro-iman, segun la direccion del chorro, como indica la figu-

ra 195. Si la descarga pasa paralelamente á la misma línea, el arco luminoso toma la forma de una espiral segun la direccion de la corriente, como representa la fig. 196. Finalmente si el chorro se produce sobre el uno, ó sobre el otro polo del electro-iman, el arco de fuego se inclina hácia la parte del electro-iman, por donde la corriente magnética corre en el mismo sentido, como se ve en la fig. 197: cuyos fenómenos son todos conformes á la ley electro-dinámica expuesta en el número 1053.

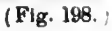


(Fig. 195.)

1093. Finalmente M. de la Rive por medio de una disposicion ingeniosa representada en la figura 198 ha obtenido la rotacion de la descarga de induccion al rededor de un iman. En el interior de un globo de vi-

(Fig. 196.)

(Fig. 197.)



(Fig. 198.)

drio ó huevo eléctrico se introduce un cilindro de hierro dulce BA de unos 2 centímetros de diámetro, cuyo extremo superior llega

casi al centro del globo. Este cilindro está enteramente cubierto menos en sus extremos con una capa aislante muy gruesa de un centímetro á lo menos de espesór, y en la parte inferior D dentro del globo está rodeado de un anillo de cobre, que comunica con un boton exterior M; hecho el vacío en el globo se introduce por medio de la llave C, una gota de alcohol, ó eter, ó esencia de trementina, y se vuelve á hacer el vacío, lo mas perfectamente que se pueda, y se pone en contacto el extremo B del cilindro AB con un electro-iman enérgico EF: puestos los dos botones L, M en comunicacion con los polos del aparato de Ruhmkorff, si el electro iman no funciona, se ve únicamente derramarse la luz eléctrica desde A al rededor del cilindro hasta el anillo D; pero al pasar la corriente voltaica por el electro-iman, la luz se recoge, y salta en forma de un penacho luminoso, que empieza á girar al rededor del cilindro imantado AB, en uno ó en otro sentido, segun la direccion de la corriente inducida y de la del electro-iman. El conmutador Q (fig. 198), análogo al que se describe en el número 1096 sirve para cambiar la direccion de la corriente voltaica en el electro-iman.

CAPÍTULO XXV.

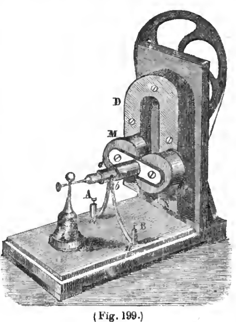
DE LA INDUCCION ELECTRO-MAGNÉTICA.

1094. Puesto que el efecto de los imanes, es como si al rededor de ellos girasen corrientes eléctricas, tambien los imanes podrán inducir corrientes en los conductores cercanos: lo que puede verificarse, enrollando sobre un tubo de carton, un alambre largo de cobre forrado de seda cuyos extremos estén en comunicacion con un galvanómetro. Introduciendo rápidamente el polo de un iman en el tubo, la aguja se desvia, y luego vuelve á su posicion natural; apartando en seguida el iman, la aguja vuelve á desviar, pero en sentido opuesto. Las corrientes imaginadas en el iman indican, que la corriente inducida en el principio tiene una direccion contraria á las del iman; y la inducida al fin tiene la misma direccion que las del iman: luego existe tambien una induccion electro-magnética.

1095. Haciendo girar un fuerte iman en forma de herradura de caballo frente á los polos de un electro-iman; ó al revés, un electro-iman delante los polos de un iman fijo, las corrientes inducidas adquieren una intensidad notable, porque en cada vuelta del electro-iman, sus polos se imantan dos veces en sentido opuesto, determinando en el alambre conductor cuatro corrientes instantáneas, que producen todos los efectos de las corrientes ordinarias. En estos principios se funda la construccion de varios aparatos *magneto-eléctricos*.

1096. En el aparato *de Clarck* (fig. 199), un poderoso iman D en forma de herradura de caballo capaz de sostener de 50 á 100 libras de peso está fijo en una tabla vertical. Entre sus polos pasa un eje metálico ho-

rizontal, que sostiene un doble-electro iman MN cuyos alambres dan 1500 vueltas; los extremos de estos alambres por una parte están soldados al eje, y por la otra á una virola metálica aislada del mismo eje por un anillo de marfil. Las dos hélices están enrolladas en sentido opuesto, para que las corrientes contrarias producidas en ellas al acercarse ó apartarse los polos del electro-iman á los del iman, vayan dirigidos en un mismo sentido. De este modo puesto el eje en comunicacion con la virola, en una media vuelta circulan dos corrientes desde el eje á la virola por las hélices, y en la otra media vuelta otras dos corrientes desde la virola al eje por los mismos hélices. Como para ciertos experimentos es necesario que las cuatro corrientes vayan en un mismo sentido, se fija al eje un *conmutador* que consiste en un cilindrito aislante, sobre el cual están aplicadas dos laminitas de laton *a, b;* la primera *a* tiene un apéndice metálico, que la pone en contacto con la virola, y la segunda *b* está atravesada con un clavo metálico que la une al eje. Dos láminas metálicas *mn* fijas á dos botones se apoyan á una y á otra parte del cilindro. Con esta disposicion en una media vuelta la lámina *m* recibirá las dos corrientes venidas á la virola, y en la otra media vuelta la misma lámina *m* recibirá las otras dos venidas al eje, y así las cuatro corrientes recogidas sucesivamente en el boton A podrán producir todos los efectos de las corrientes eléctricas en los conductores, que cerrarán el circuito aplicados á los dos botones A y B.

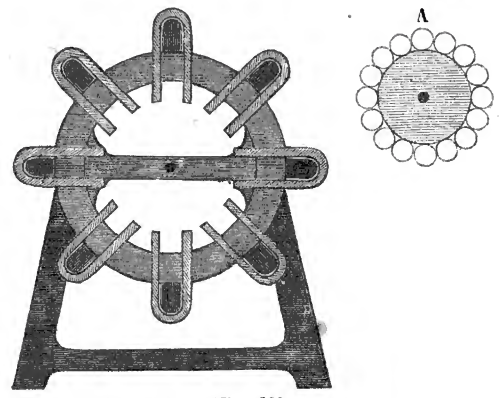


(Fig. 199.)

1097. Recientemente se han aplicado las máquinas magneto-eléctricas al alumbrado; en cuyo caso se ha observado que para la produccion de la luz sirviéndose de carbones, no era necesario, que las corrientes que se desarrollan sucesivamente en los electro-imanes fuesen en un mismo sentido, y así puede suprimirse el conmutador.

1098. Como un solo iman en forma de herradura de caballo, por po-

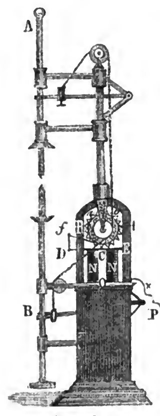
deroso que fuese, produciria poco efecto, se hace uso de muchos, que á la vez actuan sobre muchas bobinas ó electro-imanes. Imaginénse dos



(Fig. 200.)

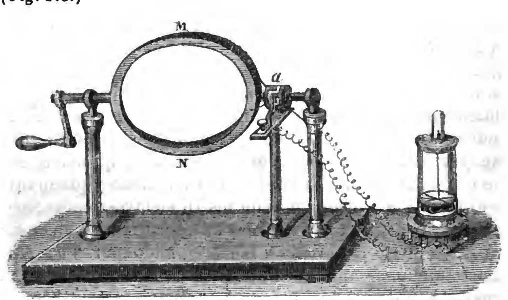
planos verticales, en cada uno de los cuales estén fijos circularmente ocho imanes como representa la fig. 200, y que entre estos planos gire un disco que lleve en su circunferencia 16 electro-imanes, esto es, tantos cuantos son los polos de los imanes, cuyos alambres por una misma parte vayan á reunirse al eje de rotacion, y por la otra á la circunferencia, como en la máquina de Clarck; se tendrá entonces un aparato, que al girar el disco producirá un efecto mucho mayor. Pero si en vez de dos planos, se suponen 5, 6 ó mas, cada uno con ocho poderosos imanes, y entre plano y plano otros discos fijos al mismo eje, cada uno con los 16 electro-imanes, se tendrá un aparato capaz de producir los mas extraordinarios efectos. Tal es el aparato inventado por *Nollet* y perfeccionado por *Van-Malderen*, que se hace funcionar aplicando al eje una correa sin fin, por medio de una maquinita de vapor de medio caballo de fuerza. Este aparato produce una luz equivalente á 150 quinqués de Carcel. Débese notar que las bobinas no están arrolladas en cilindros macizos de hierro dulce, sino en tubos de este metal abiertos en toda su longitud, para que séa mas rápida su imantacion y desimantacion al girar por delante de los polos de los imanes. Así mismo las bobinas no son de un solo alambre, sino de 10 ó 12 alambres bien aislados, con lo que se aumenta la cantidad y se disminuye la resistencia. Finalmente aplicado el aparato sin conmutador al regulador de la luz eléctrica, los dos conos se gastan igualmente, y así los dos cilindros

a y *b* (fig. 173) en que se enrollan las cuerdecitas, que sostienen las varillas con los carbones, deben tener el mismo diámetro.



(Fig. 173.)

1099. Asemejándose la tierra á un poderoso iman, tambien por su medio se podrán obtener corrientes inducidas, como lo reconoció Faraday. Al efecto se enrolla un alambre largo de cobre cubierto de seda, en un anillo de madera (figura 201) fijo á un eje horizontal AB por medio del cual pueda hacerse girar con mas ó menos rapidez, y se ponen los extremos de alambre en comunicacion con un conmutador Q, como el ya descrito n. 1094. Colocado el aparato de modo que el eje AB sea perpendicular al meridiano magnético, y que por consiguiente los puntos del alambre, girando el anillo, tracen círculos paralelos al mismo meridiano, la aguja del galvanómetro introducido en el circuito se ve desviar al Este ó al Oeste segun el sentido de la rotacion.



(Fig. 201.)

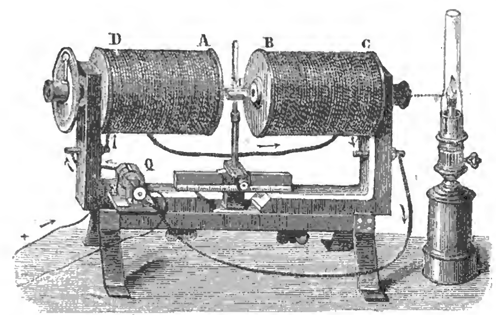
CAPÍTULO XXVI.

DIAMAGNETISMO.

1100. Como se indica en el número 916 llámanse cuerpos *diamagnéticos* los que en vez de ser atraidos por los imanes, son rechazados; y la reunion de los fenómenos de estas sustancias se dice *diamagnetismo.* Hállanse cuerpos diamagnéticos entre los sólidos, los líquidos

y los gases: aunque para poderse observar las mas de las veces se necesitan imanes muy poderosos, y á este efecto se usa del aparato de Faraday (fig. 202). Este aparato está formado de dos electro-imanes AD, BC muy enérgicos puestos de modo, que sus ejes estén en una misma linea, y se puedan acercar ó apartar entre sí. Dos de los extremos de los hilos de cobre de los electro-imanes comunican entre sí, y los otros dos con la pila; un conmutador Q puesto en el circuito permite introducir la corriente en un sentido ó en otro.

1101. Habiendo suspendido entre los polos cercanos A y B de los elec-



(Fig. 202.)

tro-imanes un cubo de cobre M por medio de un hilo de seda muy retorcido, que por efecto de la torsion hace girar rápidamente el cubo sobre sí mismo, se observa que al instante que la corriente pasa por los electro-imanes, el cubo se para en la posicion en que se halla. Y si en lugar de un cubo se suspende una bola de bismuto, en vez de ser atraida, es fuertemente rechazada. Si se suspende una barrita rectangular, esta se para en la direccion de los ejes, ó en una direccion perpendicular á ellos, segun que la barrita es de un cuerpo magnético ó diamagnético. Entre los cuerpos que son rechazados se cuentan el bismuto, el antimonio, el plomo, el zinc., etc.

1102. Para observar el magnetismo ó diamagnetismo de los líquidos, se llenan de un líquido pequeños tubitos de vidrio muy delgado, y estos tubos se suspenden en lugar del cubo. Si los líquidos son magnéticos se paran, segun la direccion de los ejes, y si son diamagnéticos se fijan en una direccion perpendicular. Las soluciones de hierro, de nikel, de cobalto son magnéticas, y el agua, el alcohol, el éter, la esencia de trementina, y muchas soluciones salinas son diamagnéticas.

1103. Algunos gases tambien se observan diamagnéticos. Puesta la llama de una vela entre los polos del aparato descrito es rechazada

fuertemente. Toda clase de llamas presenta el mismo fenómeno en grados diferentes, la del hidrógeno es la menos rechazada, y la de la resina lo es sobre todas. Pero la luz eléctrica obtenida entre dos carbones de coke lo es de un modo extraordinario, cambiándose su forma globulosa en un dardo de una extrema intensidad.

1104. Algunos cuerpos son magnéticos en unas circunstancias, y diamagnéticos en otras. Así una varilla de vidrio es atraida en el vacío, y rechazada en el oxígeno. Este es magnético en la temperatura ordinaria, y diamagnético en una temperatura muy elevada. Así tambien los cuerpos son magnéticos, segun el medio en que están sumergidos: el protosulfato de hierro es magnético envuelto en el aire ó en el agua, y diamagnético envuelto en el sulfato mas concentrado.

1105. Puestos en contacto entre los polos B y C, los extremos de los hilos, por que pasa la corriente de los electro-imanes, apenas se produce chispa ó ruido en el acto de unirlos, pero al separarlos interrumpiendo así la corriente, se produce una fuerte detonacion, que es tanto mayor, cuanto mas intensa es la corriente.

1106. Para explicar estos fenómenos, algunos admiten que un cuerpo siempre es rechazado, si está sumergido en un medio mas magnético que él, á la manera de los líquidos, que los de menor gravedad específica son empujados hácia arriba por los líquidos mas pesados. Segun otros todos los cuerpos, con relacion al diamagnetismo están en una serie, en la cual el oxígeno es el cuerpo mas magnético. Segun Faraday el fenómeno es debido á una induccion eléctrica, por la cual puesta la sustancia entre los polos del electro-iman se originan en ella corrientes inducidas, las cuales si van en el mismo sentido, que las del electro-iman, ó lo que es lo mismo, si estas corrientes están orientadas, de modo que sus dos polos no idénticos estén en la parte mas cercana, entonces habrá atraccion, como en los solenoides; habrá repulsion, cuando las corrientes inducidas estén orientadas de tal modo, que presenten los polos del mismo nombre.

LIBRO DÈCIMO.

METEOROLOGÍA.

CAPÍTULO PRIMERO.

DE LA ATMÓSFERA.

1107. La *meteorología* es la ciencia, que se ocupa del estudio de los fenómenos, que se producen en la atmósfera llamada *Meteoros*.

1108. Se llama *atmósfera* esa inmensa cantidad de sustancias aeriformes, que envuelven por todas partes la tierra. La análisis del aire recojido en todas las localidades y alturas ha dado siempre por resultado una mezcla de nitrógeno, oxígeno, ácido carbónico, y vapor de agua; las dos primeras sustancias se hallan siempre en las mismas proporciones, á saber 79 nitrógeno y 21 oxígeno; pero las dos últimas son muy variables en su cantidad.

1109. Por medio del barómetro se reconoce la presion, que ejerce la atmósfera terrestre en un punto cualquiera de la tierra. En el nivel del mar es próximamente de unos 760 milímetros, pero va disminuyendo, á medida que nos elevamos sobre el mismo nivel; así en Madrid que se halla á unos 653 metros sobre dicho nivel, la presion de la atmósfera es solamente de unos 700 milímetros. Segun Henry la presion debida á cada uno de los componentes de la atmósfera es, para el nitrógeno 593 milímetros, para el oxígeno 157, para el vapor de agua unos 11 ó 12 milímetros; y 0,5 para el ácido carbónico.

1110. No obstante la fuerza expansiva de los gases, la atmósfera debe tener un límite, pues los últimos átomos no dejan de experimentar la fuerza de atraccion de la tierra, que constituye su peso, al mismo tiempo que la fuerza repulsiva disminuye con la distancia de los mismos átomos. Por otra parte la temperatura va decreciendo á medida que nos elevamos en la atmósfera, de modo que á una cierta altura no muy considerable debe existir un frio tan intenso, que se oponga á la ulterior expansion de los gases, en cuyo punto la atmósfera se constituirá en superficie esférica análoga á la de las aguas del mar. Este límite se cree que no pasa de unas 16 leguas de distancia de la tierra.

1111. Las observaciones del barómetro hechas en las diferentes horas del dia, han dado á conocer, que la atmósfera se halla en un contínuo movimiento de flujo ó reflujo análogo al que observamos en el mar. Este fenómeno presenta ordinariamente dos máximos y dos mínimos de presion cada dia; los primeros suceden entre 9 y 10 horas de la mañana y entre 9 y 10 horas de la noche, los segundos tienen lugar entre las 4 y 5 horas de la mañana, y entre 3 y 4 horas de la tarde. Estas olas atmosféricas son independientes de la direccion y fuerza de los vientos, pues se observan aun en tiempo de calma, pero son mas ó menos modificadas por ellos. Este fenómeno pues consta de cuatro periodos ú oscilaciones, dos de dia y dos de noche, que constituyen dos olas atmosféricas ó dos flujos ó reflujos.

1112. He aquí algunas leyes observadas en estas oscilaciones: 1.ª Las oscilaciones ó períodos diurnos son de mayor valor, que los de la noche. 2.ª Con los vientos del Norte las oscilaciones se observan algo mayores, que con los vientos del Sur. 3.ª Son tanto mas intensas, cuanto mas nos acercamos al ecuador así en Guatemala el valor medio de la oscilacion de medio dia en cuatro años de observacion se ha hallado de 2,36 milímetros, mientras que en Paris es solo de 0,76 milímetros. 4.ª Se observa tambien que la oscilacion media es máxima eu Febrero y decrece luego hasta Junio ó Julio, que es mínima. Así tambien se observa que durante el año se forman dos grandes olas atmosféricas cuyos máximos de presion se verifican hácia Enero ó Febrero, y Julio; los mínimos tienen lugar hácia Junio y por Octubre.

1113. No está muy bien determinado cuál sea la causa ó causas de estas mareas atmosféricas. Deben atribuirse á la atraccion de la luna y del sol, como se atribuyen á estos astros el flujo y reflujo del mar? Deberá tambien atribuirse á la accion del calor del sol en las diferentes horas del dia como lo indica la 1.ª ley observada y sobre todo la 3.ª? Deberá tambien influir el calor del sol segun su posicion en las diferentes estaciones del año? Podrá tambien concurrir á estos efectos el movimiento rápido de la tierra por su órbita, siempre paralelo á sí mismo? Podrá haber otras causas que concurran á estos movimientos periódicos? Cuál es el valor relativo de cada una de todas estas causas? Las curvas, que se obtendrán con observaciones hechas de un modo regular en muchísimos puntos del globo, y con su mútua comparacion, y sobre todo las curvas obtenidas por barómetros, que de sí mismo las tracen de un modo contínuo é independientemente del observador podrán solas esclarecer todos estos puntos, y al mismo tiempo dar á conocer otras muchas leyes y sus mútuas relaciones con los demás meteoros.

CAPÍTULO II.

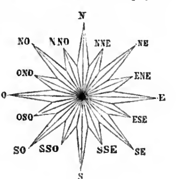
DE LOS VIENTOS.

1114. Los vientos son unas corrientes de aire, que se producen en la atmósfera. Muchas son las causas, que pueden dar orígen á los

vientos. Una de las principales es el calor del sol, que calentando fuertemente la tierra, el aire que está en contacto con ella se calieute tambien, y se dilata, produciéndose así corrientes ascendientes, ó sea de la parte caliente á la fria; al mismo tiempo se establecen corrientes afluentes laterales hácia el mismo lugar, que reemplazan al aire que va elevándose. Otra causa es la condensacion mas ó menos pronta de los vapores que contiene el aire, y sobre todo su concrecion en lluvia, nieve, granizo, etc.; por cuyo motivo la atmósfera á veces en un tiempo muy breve pierde millares de quintales de masa, que origina un vacío extraordinario, sobre el que se precipita el aire con mas ó menos impetuosidad. Fiualmente la rotacion de la tierra y el curso mas ó menos rápido de los rios, por efecto del roce seráu causas mas ó menos poderosas de los vientos.

1115. Los vientos pueden propagarse por impulsion ó por aspiracion : se propagan por impulsion, cuando el soplo y la marcha progresiva tienen el mismo seutido, como cuaudo sale el aire, comprimido por un fuelle. Por aspiracion se propaga el viento, cuando el soplo es en un sentido, y la propagacion en un sentido opuesto, como cuando entra el aire en un fuelle, pues el soplo se dirige hácia el fuelle, pero los puntos del aire mas lejanos del fuelle son los últimos que reciben su impresion. Este modo de propagacion del viento se observa en no pocas ocasiones.

1116. En los vientos hay que distinguir su direccion y su fuerza. Para conocer su direccion sirve la veleta, que suele ser una vara larga colocada en la parte mas elevada de un edificio, que puede girar libremente; en su parte superior se fija una lámiua metálica, ó mejor dos bajo un ángulo agudo. El viento empujando las láminas dirige segun su misma direccion una flecha fija en ellas. En la parte inferior del asta, que se introduce dentro del edificio, se fija un índice en la direccion misma de la flecha. Este índice señala el viento por medio de un círculo dividido en 8, 16, ó 32 partes, que se llama *rosa de vientos*, en el cual se han señalado las iniciales de los vientos *Norte*, Sur, Este, y Oeste y sus intermedios como indica la fig. 203.



(Fig. 203.)

1117. Los vientos se dividen en regulares, periódicos, y variables. Los vientos *regulares* son los que soplau casi siempre en una misma direccion. Estos vientos llamados antes *aliseos* se experimentan coustantcmente en las re-

giones ecuatoriales lejos de las costas. En el hemisferio boreal hasta unos 30° de latitud reina el Nordeste, y en el austral el Sudeste, siguiendo el movimiento aparente del sol. La causa de estos vientos debe ponerse en el movimiento rotatorio de la tierra combinado con las corrientes, que desde los polos se dirigen hácia el ecuador por la elevacion del aire producida por efecto del calor del sol. Así la direccion de estos vientos tanto mas se aparta de la del ecuador, cuanto mayor es la latitud, tomando una direccion mas ó menos inclinada.

1118. Los vientos *periódicos* son los que con regularidad soplan en la misma direccion durante la misma estacion del año ó las mismas horas del dia. Asi en el golfo de Arabia, en el de Bengala y en el mar de la China el viento sopla seis meses en una direccion y los otros seis en otra. En verano se dirigen hácia los continentes, y al revés en invierno. Estos vientos los llaman *monzones*. Así tambien en las costas del mar durante el dia sopla el viento del mar hácia la tierra, y durante la noche sopla de la tierra hácia el mar. Estos vientos llamados *brisas* son debidos, á que durante el dia se calienta mas la tierra, y así se establece una corriente desde el mar: por la noche la tierra irradiando mas que el mar, se enfria tambien mas, y así se establece una corriente contraria. Las brisas son muy regulares en los trópicos; pero poco, léjos de ellos.

1119. Los vientos *variables* son los que soplan ya en una direccion, ya en otra; cuanta mayor es la latitud, tanto mas variable es el viento. Con todo por causas mas ó menos locales en cada region domina mas bien un viento que otro. Así el Suroeste domina en el Norte de Francia, en Alemania y en Inglaterra; en España y en Italia predomina el Norte. Se observa frecuentemente que el viento que al amanecer es Norte á veces pasa hácia el Este y luego al Sur á medio dia, mas tarde hácia el Oeste y finalmente por la noche vuelve á ser Norte, recorriendo así toda la rosa de vientos durante el dia; lo que se explica por las corrientes escitadas por el calor del sol.

1120. La fuerza ó intensidad de los vientos se reconoce por medio de los *anemómetros* que miden su velocidad, ó bien la presion que egercen segun se expuso en el número 316 y siguientes.

1121. Con relacion á la velocidad, los vientos se dividen en varios grados, que toman diferentes nombres. La tabla siguiente da á conocer estos grados, y la velocidad á que corresponden. Si el anemómetro es de peso se convierte en valor de la velocidad, ó recíprocamente, por la fórmula v^2=P+200, expresando el valor de p en gramos y el de v en metros.

ORDEN.	DENOMINACION.	VELOCIDAD POR 1'' EN METROS.
1	Muy débil.	de 1 á 2
2	Débil..	» 2 á 4
3	Moderado: viento fresco; brisa. .	» 5 á 7
4	Algo fuerte: bueno para navegar.	» 8 á 10
5	Fuerte.	» 11 á 14
6	Muy fuerte.	» 15 á 19
7	Tempestuoso.	» 20 á 26
8	Huracan.	» 27 á 36

1122. Los huracanes siendo simplemente vientos, pueden como estos propagarse tanto por impulsion, como por aspiracion. Franklin observó un fuerte huracan, en el cual el viento soplaba del Nordeste, mientras que el mismo huracan adelantaba en sentido contrario, esto es, hácia el mismo Nordeste. Lo mismo se ha observado en muchos otros huracanes. Los huracanes pueden tener mas ó menos fuerza; de modo que si llegan á la velocidad de unos 45 metros por segundo, podrán derribar edificios, arrancar árboles, etc. Además no pocas veces corren una grande extension, con una intensidad casi igual.

1123. Análogas á los huracanes por los desastres que causan son las *trombas*, que consisten en unas grandes masas de vapores, que atraviesan las capas inferiores de la atmósfera, y están animadas las mas de las veces de un movimiento giratorio muy rápido, destruyendo cuanto opone resistencia á su paso. Si la tromba se forma en el mar, las aguas se agitan y se levantan en forma de cono: mientras que las nubes bajan tambien en forma de cono invertido, y uniéndose los dos conos por sus vértices, determinan una columna de agua, que por no ser salada, manifiesta que está formada de vapores condensados, y no del agua del mar. Estos fenómenos se conocen con el nombre de *mangas de aire ó mangas de agua* segun que se forman en el interior de los continentes, ó en el mar. Segun Kaemtz consisten en el movimiento de rotacion del aire inmediato á las tempestades, y segun Peltier su causa es la electricidad atmosférica.

CAPÍTULO III.

DE LA DISTRIBUCION DEL CALOR.

1124. Ejerciendo el calor una grandísima influencia sobre la mayor parte de los fenómenos meteorológicos, es necesario conocer su

distribucion en las diferentes partes del globo, y su estado termométrico: y como la temperatura varia á cada momento segun la diferente posicion del sol, que es la causa principal del calor que recibimos, se deberá tomar un resultado medio de todas las observaciones que se habrán hecho de un modo constante, y por un tiempo considerable.

1125. Para tomar la temperatura del aire cerca de la superficie de la tierra se coloca el termómetro en un lugar bien expuesto á la accion de los vientos, separándolo de los rayos directos del sol, y de los reflejados por el suelo, y apartándolo de toda influencia local, que pueda alterar la temperatura del aire libre. Ordinariamente se coloca el termómetro dentro de una especie de jaula, que por los lados opuestos, y por debajo tiene persianas, y por encima un pequeño doble techo, con lo que queda defendido de la lluvia, de los rayos del sol, y de los reflejados por el suelo, sin que se le impida al aire su circulacion. Esta jaula se pone hácia el norte por su parte anterior abierta, y á una elevacion de unos 5 metros sobre el suelo.

1126. La temperatura media de un dia se obtiene dividiendo por 24 la suma de las observaciones hechas cada hora en las 24 del dia. La experiencia enseña que se obtiene un resultado muy aproximado, tomando la media de las tres observaciones hechas á las 6 de la mañana, 2 de la tarde y 9 de la noche; y mejor aun tomando la media de las 6 de la mañana, 9 de la mañana, 3 de la tarde y 9 de la noche. En muchos observatorios se ha tomado por temperatura media el término medio de la temperatura máxima y mínima observada con el *termometrografo*, pero parece que este método da un resultado casi de un grado mas elevado, del que se obtiene con los métodos precedentes.

1127. La temperatura media de un mes es la que resulta de la suma de las temperaturas medias diurnas, dividida por el número de dias del mes; la cual es próximamente igual á la que se obtiene de las observaciones diurnas hechas á las 7 de la tarde. La temperatura media del año es la suma de las medias mensuales dividida por 12, la cual se halla muy aproximada á la media del solo mes de Setiembre. Finalmente tomando la temperatura media anual de una serie de años, se llega á obtener la temperatura media de un lugar. Esta serie de años debe ser tanto mayor, cuanto la diferencia de temperaturas medias anuales se observase mayor. Así si esta diferencia se eleva á 1° en diez años se podrá suponer que la verdadera temperatura media de aquel punto no se diferencia de la observada de 0°,1.

1128. Muchas son las causas de cuya influencia depende la temperatura media de un lugar, como son, su latitud, su altura sobre el nivel del mar, la direccion de los vientos, la cercanía de los mares, la constitucion del suelo, etc. Como la intensidad del calor disminu-

ye segun la mayor oblicuidad de los rayos del sol, se sigue, que la temperatura debe crecer desde el ecuador á los polos, como así se observa. Entre los trópicos esta disminucion es poco sensible, pero lo es mucho en las latitudes medias, y muy considerable en las mas altas. Con todo el descenso de temperatura que resulta de la latitud, es muy lento; y como innumerables causas locales la perturban, no se ha podido reconocer que ley sigue este decremento. La tabla siguiente manifiesta la disminucion de temperatura causada por la latitud.

ESTACIONES.	LATITUD.	TEMPERATURA MEDIA.
S. Luis (Senegal).	16° 1′ N.	24,°6
Santa Cruz (Canarias).	28 28 N.	21, 6
Obs. de S. Fernando (España).	36 28 N.	19, 8
Bilbao (España)..	43 ° N.	14, 2
Londres (Inglaterra).	51 31 N.	10, 4
Estocolmo (Suecia).	59 21 N.	5, 6
Mar de Groelandia.	63 — N.	—7, 7

1129. La elevacion sobre el nivel del mar produce una disminucion de temperatura mucho mas rápida, que la latitud; porque el aire á medida que está mas enrarecido tiene menor poder absorvente, y no se puede calentar por la irradiacion del sol ó del suelo, siendo sumamente diatérmico, y así solo se calienta por el contacto con el suelo, y por las corrientes ascendientes que de ello resultan. De lo que se sigue que las capas de aire de igual temperatura no son concéntricas con la superficie de la tierra; como lo prueba la region de las nieves perpétuas, que cubren las montañas en las diferentes latitudes. En la zona tórrida el límite de las nieves perpétuas se halla á una altura superior de 4500 metros; en los Pirineos y en los Alpes no llega á 3000 metros y en Noruega á 70° de latitud, apenas pasa de 1000 metros. Si bien no se conoce la ley de esta disminucion de temperatura, que depende de innumerables causas locales muy diferentes en los diferentes paises, se evalua por término medio á 1° por cada 180 metros de elevacion en la zona tórrida, y á 1° por cada 150 metros en las zonas templadas.

1130. La direccion de los vientos, y la proximidad de los mares modifican notablemente la temperatura de un lugar. En efecto tomando el viento la temperatura de la region que atraviesa, si esta es muy fria, se enfria; y si es caliente, se calienta; modificando luego la temperatura del lugar á donde se dirige. Así tambien la tempera-

tura de los mares, es siempre algo mas elevada que la de la atmósfera, y muy uniforme; participando mas ó menos de estos efectos las costas.

1131. Uniendo los puntos de la superficie de la tierra, en que se observa la misma temperatura resultan líneas mas ó menos curvas de igual calor llamadas *líneas isotermas*. El espacio comprendido entre dos líneas isotermas se ha denominado *zona isoterma*. La division de la superficie de la tierra en 7 zonas isotermas constituye lo que se denomina *climas;* los que se caracterizan por sus temperaturas medias, y por los límites entre que están comprendidas, y son, 1.º *clima tórrido* de 30° á 25°: 2.º *Clima cálido* entre los 25° y 20°: 3.º *Clima dulce* comprendido entre 20° y 15°: 4.º *Clima templado* de 15° á 10°: 5.º *Clima frio* entre 10° y 5°: 6.º *Clima muy frio* entre 5° y 0°: 7.º *Clima helado* desde 0° á —10°. La zona comprendida desde —10° abajo se suele llamar *zona polar*.

1132. Tambien los climas se suelen dividir en *constantes*, *variables* y *excesivos:* los primeros son los que ofrecen una temperatura, que entre el invierno y el verano se diferencia de pocos grados: los variables son cuando esta diferencia sube de 10° á 20° grados; y los últimos son los que presentan una diferencia de 30° ó mas grados: tales son los climas de Pekin y de Nueva-York. Los mares y las islas gozan de un clima muy constante.

1133. Moviéndose la tierra en el espacio, cuya temperatura es incomparablemente menor, que la de su superficie, se sigue que esta irradiará el calor recibido del sol durante el dia, produciéndose un enfriamento tanto mayor, cuanto mas dure su ausencia: y como el calentamiento y enfriamento de la superficie se suceden por períodos diurnos, que crecen con la latitud, el equilibrio de temperatura que se establecerá entre estos efectos opuestos deberá tener lugar en puntos subterráneos, tanto mas léjos de la superficie cuanto mayor sea la latitud. La union de estos puntos es lo que constituye la *capa de constante temperatura*, la cual en los climas ecuatoriales se halla á una profundidad de 1 á 2 pies, pero en los climas templados llega á 30 ó 40 pies y en los climas helados se halla á una profundidad mucho mayor. Entre esta capa subterránea de constante temperatura y la superficie del globo tienen lugar los cambios y oscilaciones de temperatura, tanto mas considerables, cuanto mas nos acercamos á la misma superficie.

1134. Por lo que tòca á la temperatura de los mares, esta en las regiones ecuatoriales es casi la misma que la del aire en su superficie, pero en las regiones polares es siempre mayor que la del aire, que está encima. Y como el agua no es diatérmica, ni se calienta de arriba abajo, su temperatura disminuye, cuando su profundidad aumenta, de modo que á grandes profundidades se halla ser sola-

mente de 3 á 4 grados : para lo cual contribuyen las corrientes submarinas, que llevan el agua fria desde los mares polares hácia el Ecuador.

CAPÍTULO IV.

HIGROMETRIA.

1135. El agua, que ocupa una gran parte de la superficie de la tierra, se evapora espontáneamente bajo la accion mas ó menos enérgica del calor del sol; pero acumulándose estos vapores en las capas inferiores de la atmósfera, impiden que la evaporacion espontánea continue. La cantidad de vapor contenida en un determinado volúmen de aire varia por efecto de muchísimas circunstancias, las cuales influyen tambien en que jamás el aire esté saturado de vapor, aun despues de las mayores lluvias, y en que jamás esté completamente seco; como se prueba por medio de ciertas sustancias, que tienen grande afinidad para con el agua llamadas *higrométricas* las cuales expuestas al aire, siempre absorben vapor que las hace crecer de peso y de volúmen.

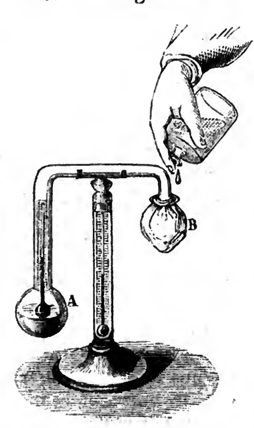
1136. La *higrometria* pues tiene por objeto determinar la cantidad de vapor de agua en estado elástico ó de sequedad aparente, contenida en un determinado volúmen de aire. Se ha llamado *estado higrométrico del aire ó fraccion de saturacion*, la relacion de la cantidad actual de vapor, á la que contendria, si estuviese saturado en igual temperatura. Y como la ley de Mariotte (696) conviene igualmente á los vapores no saturados, que á los gases, se sigue que el peso ó cantidad de vapor en un espacio no saturado, es proporcional á la presion, y por consiguiente á la tension; por lo que á la razon de las cantidades de vapor se puede sustituir la razon de sus fuerzas elásticas ó tensiones en las mismas circunstancias.

1137. Llámanse *higrómetros* los instrumenlos, que sirven para determinar el estado higrométrico del aire, y pueden reducirse á cuatro clases, que son higrómetros químicos, de absorcion, de condensacion y los psicrómetros.

1138. Son *higrómetros químicos* todas las sustancias, que gozan de una grande afinidad por el vapor de agua, como por ejemplo el cloruro de calcio y el ácido sulfúrico. Puesta una de estas sustancias en un tubo en forma de U, y poniendo uno de los brazos en comunicacion con la parte superior de un aspirador lleno de agua, á medida que esta sale del aspirador, entra el aire el cual pasando á través de la sustancia higrométrica, deja todo el vapor que contiene. El aumento de peso que experimentará la sustancia, dará á conocer la cantidad de vapor, que contenia el volúmen de aire igual á la del aspirador.

1139. Hay muchas sustancias orgánicas llamadas *higroscópicas* como los cabellos, el pergamino, las cuerdas de vihuela, etc., que absorbiendo la humedad del aire se alargan, y perdiéndola se contraen: y así con semejantes sustancias se forman higrómetros, entre los cuales el mas conocido es el de Saussure, que está formado con un cabello desengrasado, haciéndole hervir en una disolucion muy diluida de subcarbonato de soda. Fijo el cabello por una extremidad en un telarito de madera, se arrolla en la garganta de una pequeña polea, y se tiene tirado con un pesito. El eje de la polea sostiene un índice que recorre un cuadrante alargándose ó acortándose el cabello. El punto de extrema sequedad, ó cero, se determina colocando el instrumento debajo de una campana de vidrio, cuyo aire se seca por medio de sustancias *higrométricas*. El punto de extrema humedad se obtiene mojando las paredes de la campana con agua destilada y señalando 100 donde el índice queda estacionario: el espacio intermedio entre cero y 100 se divide en 100 partes iguales, y el instrumento queda graduado. Largo seria referir los muchos defectos, que tiene este higrómetro por los cuales ni es comparable con otros higrómetros semejantes, ni aun consigo mismo; por lo que en la actualidad está casi abandonado.

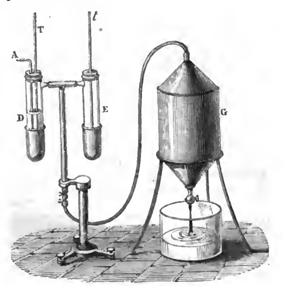
1140. Los higrómetros de *condensacion* tienen por objeto indicar la temperatura, en que el aire estaria perfectamente saturado con el vapor, que actualmente contiene. Uno de los principales es el de Daniell (fig. 204) que consta de dos esferas huecas A y B de vidrio unidas con un tubo encorvado; la esfera A contiene un poco de eter y un termómetro, y la esfera B se cubre con una tela fina de algodon: el interior está perfectamente purgado de aire. Mojando con eter la tela de la esfera B, se enfria y así se condensan en ella los vapores interiores, por lo que el eter de la esfera A desarrolla nuevos vapores, que sucesivamente se van á condensar en la esfera B; por lo que la esfera A se enfria de modo, que el aire exterior que está en contacto, llega á una temperatura, en que el vapor que contiene, es suficiente para saturarlo; entonces este vapor se deposita sobre la misma esfera en forma de rocío; y el termómetro interior indica la temperatura de este punto, que es el



(Fig. 204.)

de la saturacion del ambiente. Otro termómetro colocado en el sosten del aparato da á conocer la temperatura del aire libre.

1141. Ahora bien mientras se enfria el aire, permanece invariable su tension, porque esta tanto disminuye por el descenso de temperatura, cuanto crece por la disminucion de volúmen: lo mismo debe suceder al vapor que contiene, puesto que la fuerza elástica de la mezcla igual á la de la atmósfera, es igual á la suma de las fuerzas elásticas de cada fluido (700), y así la tension del vapor es la misma en el punto de rocío, que antes del enfriamento. Dividiendo pues la tension correspondiente al punto de rocío que llamarémos f por la tension F del vapor saturado en la temperatura del aire libre, el cociente representará el estado higrométrico actual del aire. Supongamos que el termómetro de la esfera A señala 20°, y el exterior marque 30° buscando en las tablas (698) las tensiones correspondientes á estas temperaturas, se tendrá $\frac{f}{F}=\frac{17,391}{31,548}=0,551$ que será la fraccion de humedad, que contiene el aire.



(Fig. 205.)

1142. El higrómetro de *Regnault* (fig. 205) es mas seguro y exacto que el de Daniell, y consiste en dos dedalitos de plata muy delgados, de unos 40 milímetros de altura y 20 de diámetro, en los cuales se ajustan dos tubos de vidrio D, E con un termómetro en su interior, fijo en la extremidad abierta con un corcho : en el tubo D hay otro tubito A abierto por ambos extremos, de los cuales uno se sumerge en el eter, que llena por mitad el tubo D: finalmente este tubo está en comunicacion con la parte superior del aspirador G lleno de agua ; por lo que al derramarse esta, entra el aire, á través

del tubo A y hace evaporar parte del eter, produciéndose así un enfriamento, que determina sobre el dedal un depósito de rocío, como en el higrómetro de Daniell. Los termómetros T y t indican la temperatura del rocío y del aire exterior, y se forma el cálculo como está dicho en el número anterior.

1143. El *psicrómetro de Augusto* consiste en observar simultaneamente dos termómetros iguales, de los cuales uno tiene el depósito constantemente mojado. De la diferencia de temperaturas se deduce la temperatura del punto de rocío por medio de la fórmula $t=T-\varphi(T-T')$, en la que T es la temperatura del aire dada por el termómetro enjuto, T′ la del húmedo que indica la temperatura de la evaporacion, que es tanto mas baja, cuanto el aire tiene menos humedad, y t la temperatura del punto de rocío. Sea por ejemplo $T=20^o$, $T'=15^o$ y $\varphi=1,8$ se tendrá $t=20-1,8(20-15)=11^o$; buscando pues la tension del vapor á la temperatura de 11° y de 20°, y dividiendo la primera por la segunda se tendrá el estado higrométrico: en el caso presente se tendrá $\frac{9,79}{17,39}=0,56$. La misma fórmula anterior puede dar á conocer el factor φ. Supongamos que en el acto de la observacion por medio del higrómetro de Daniell ó de Regnault se haya hallado $t=11^o$, sustituyéndo en la fórmula este valor será $11^o=20^o-\varphi(20^o-15^o)$, se tendrá $\varphi=1,8$. Haciéndose esta operacion en distintas temperaturas se ha podido formar la tabla siguiente del factor φ.

TEMPERATURA.	COEF. φ.
De 0° á 2°. . .	=3,0
2 — 5.. . .	=2,5
5 — 10.. . .	=2,2
10 — 15.. . .	=2,0
15 — 20.. . .	=1,8
20 — 25.. . .	=1,7
25 — 30.. . .	=1,6

1144. La tension en milímetros del vapor existente en la atmósfera en el momento de una observacion, y por consiguiente la humedad relativa del aire se obtiene tambien por medio de las dos fórmulas establecidas por M. Regnault $x=f'-\frac{0,480(F-F')}{610-F'}\times a$; $x=f'-\frac{0,480(F-F)}{689-F'}\times a$; en las que f' representa la tension correspondiente á la temperatura T′ del termómetro húmedo, a la altura barométrica, y x la tension buscada. La primera fórmula sirve para cuando la temperatura pasa de 0°; y la segunda para cuando el termómetro húmedo está cubierto de hielo. Por medio de estas fórmulas se han construido tablas, en las que se lee inmediatamente la tension del vapor, y la humedad relativa del aire correspondiente á cada diferencia de temperatura de los dos termómetros seco y húmedo. Este método es el que se sigue ordinariamente en los observatorios meteorológicos.

1145. Conocida la tension del vapor, que actualmente se contiene en el aire, que es la misma que en la temperatura del punto de rocío,

facilmente se determina la cantidad absoluta de vapor que hay en un determinado volúmen; por ejemplo de un metro cúbico. En efecto siendo el peso de un litro de aire seco á la temperatura t de observa cion y bajo la presion f igual $\frac{1{,}3gr. \times f.}{(1+0{,}00366t)760}$ (666), y siendo la densidad del vapor 0,6235, su peso en un metro cúbico será $1000 \times \frac{1{,}3gr. \times f}{(1+0{,}00366t)760} \times 0{,}6235$. La tabla siguiente expresa el peso del vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire, y su tension en los distintos grados de temperaturas del punto de rocío desde 0 á 30 grados.

Temperatura del punto del rocío.	Fuerza elástica correspondiente en mm.	Peso del vapor en un metro cubico gram.	Temperatura del punto del rocío.	Fuerza elástica correspondiente en mm.	Peso del vapor en un metro cubico gram.	Temperatura del punto del rocío.	Fuerza elástica correspondiente en mm.	Peso del vapor en un metro cúbico gram.
0°	4,60	5,4	10	9,17	9,7	20	17,39	17,1
1	4,95	5,7	11	9,79	10.3	21	18,50	18,1
2	5,30	6,1	12	10,46	10,9	22	19,66	19,1
3	5,69	6,5	13	11,16	11,6	23	20,89	20,2
4	6,10	6,9	14	11,91	12,2	24	22,18	21,3
5	6,53	7,3	15	12,70	13,0	25	23.55	22,5
6	7,00	7,7	16	13,54	13,7	26	24,99	23,8
7	7,49	8,2	17	14,42	14,5	27	26,51	25,1
8	8,02	8,7	18	15,36	15,3	28	28,10	26,4
9	8,57	9,2	19	16,35	16,2	29	29,78	27,9

1146. Por la tabla que precede se deja comprender que la masa de agua suspendida en la atmósfera bajo la forma de vapor elástico debe ser sumamente grande, sobre todo atendida la considerable estension de los mares, principalmente ecuatoriales, que ocupan los $\frac{5}{6}$ de la zona tórrida, y su constante temperatura de 28 á 30 grados en dicha zona. Ahora siendo la densidad del vapor no mas que $\frac{5}{8}$ de la del aire, este mezclado con el vapor tendrá una densidad menor, por cuyo motivo se elevará á lo alto, y será reemplazado por otro, que á su vez se cargará de vapores, y subirá tambien, promoviéndose de este modo la evaporacion por efecto de las corrientes, que origina sin cesar esta misma evaporacion. Los vapores elevados se derramarán lateralmente, y se esparcirán á una distancia mas ó menos considerable hácia los continentes, segun la mayor fuerza de las corrientes atmosféricas.

1147. Las observaciones higrométricas hechas en muchos lugares

han dado á conocer, que la humedad del aire en un lugar de la tierra en igualdad de circunstancias aumenta cuanto mas próximo se halla del mar; así tambien disminuye notablemente con la altura. Además la direccion de los vientos influye mucho, pues estos la conducen desde el mar á los continentes, siendo por este motivo mas húmedos los lugares en que reina el viento de la parte del mar.

CAPITULO V.

DEL RELENTE, ROCÍO Y ESCARCHA.

1148. Los vapores acuosos, que sin cesar, se levantan de la superficie del globo, y constituyen el estado higrométrico del aire, dan orígen á muchos meteoros, llegando al estado de saturacion; lo que se verifica entre otras causas por un cambio de temperatura, por el choque de corrientes atmosféricas, y por la pérdida instantánea de la electricidad.

1149. El *sereno* ó *relente* es una especie de lluvia sumamente fina, que cae sin que se vea ninguna nube. Este fenómeno se observa frecuentemente en los paises húmedos al anochecer, sobre todo despues de un dia caluroso. Al ponerse el sol, el aire se enfria hasta tal punto, que los abundantes vapores que con el calor se habian levantado, son mas que suficientes para saturarlo, y así se precipitan en la forma expresada.

1150. El *rocío* consiste en el mismo vapor de agua, que durante la noche se condensa en gotitas sobre los cuerpos. Este meteoro suele comenzar hácia las 12 de la noche, y continua hasta la salida del sol, en cuyo momento suele depositarse la mayor cantidad. Así tambien en primavera y otoño suele ser mas abundante, que en verano. La causa de este meteoro es el enfriamento que sufren los cuerpos por efecto de su irradiacion, que hace bajar su temperatura á un grado inferior al que tiene el aire: por lo que este con su contacto se enfria tambien hasta llegar al punto de su saturacion, abandonando entonces aquella parte de vapor que no puede ya contenerse en estado elástico. Por tanto las causas que favorecen el enfriamento de los cuerpos, aumentan la cantidad de rocío, que se deposita en ellos: tales son su poder emisivo, y su conductibilidad, su posicion mas ó menos libre en el espacio, el estado del cielo y la mayor ó menor agitacion del aire. El viento poniendo los cuerpos á la misma temperatura del aire impide que se enfrien, como lo harian en una noche de calma. Así tambien como un cielo cubierto se opone á la irradiacion terrestre, y además las nubes irradian su propio calor, los cuerpos colocados sobre la superficie de la tierra no experimentan sino un débil enfriamento.

1151. Si el rocío se deposita sobre cuerpos, cuya temperatura por efecto de la irradiacion ha bajado bajo cero, se congela, y produce el metéoro conocido con el nombre de *escarcha ;* la cual puede tener lugar, aun hallándose la temperatura del aire á 6, 7 ó mas grados sobre cero. La escarcha está formada frecuentemente de pequeños cristales, que le dan la apariencia de nieve, lo que indica que los vapores al depositarse se congelan inmediatamente. La escarcha, lo mismo que el rocío, se acumula principalmente sobre los cuerpos que mas irradian su calor, como son las plantas ; y como podia serles muy perjudicial, para impedir que se forme sobre ellas, basta protegerlas de la irradiacion, cubriéndolas con una tela, ó estera, ó cosa semejante.

CAPÍTULO VI.

DE LAS NIEBLAS Y DE LAS NUBES.

1152. Las *nieblas* son grandes masas de vapor de agua condensadas en las regiones bajas de la atmósfera. Este metéoro tiene lugar, cuando el suelo húmedo está mas caliente que el aire que está encima, porque entonces los vapores al subir, encuentran una temperatura inferior al punto de saturacion, y así se hacen visibles. Si el aire está seco, ó muy agitado, podrá suceder que no se forme niebla, aunque el suelo se halle á una temperatura mucho mayor, porque siempre se necesita que el aire llegue al punto de su saturacion. Las localidades mas á propósito para la formacion de las nieblas son, la desembocadura de los rios, los terrenos pantanosos, y las llanuras favorables á la formacion del rocío, porque en tales puntos se desarrolla mucho vapor.

1153. Las nieblas pueden tambien formarse, cuando una corriente de aire caliente y húmedo pasa por encima de un rio cuya temperatura es inferior, pues entonces enfriándose el aire, llega al punto de su saturacion, y los vapores se condensan. En general siempre que dos corrientes de aire saturado de humedad y diferentemente calientes se mezclan, se produce la niebla, porque la temperatura media que resulta, no es suficiente para que el vapor tenga una fuerza que lo conserve en estado elástico. Por ej. mezclándose el aire saturado á 5° con el saturado á 15°, la temperatura media resultante seria de 10°; pero como la fuerza del vapor saturado á 5° es 7 milimetros, y la de 15° es 13^{mm} cuyo medio es 10 milímetros, y el aire saturado á 10° tiene la fuerza de solos 9 milímetros, se sigue por necesidad que debe condensarse parte del vapor, que tenia 10 milímetros de fuerza elástica.

1154. Hay una especie de nieblas que se llaman *secas*, porque no

afectan los higrómetros, las cuales tienen á veces un olor mas ó menos fétido, y se presentan elevadas, sobre los terrenos ocupando tal vez regiones enteras por muchos dias consecutivos. El aspecto de esta clase de nieblas es como la de un humo denso igualmente esparcido en la atmósfera, muy acumulado en el horizonte, y enrarecido hácia el cenit del observador. Su altura es extraordinaria, por que se ven los cúmulos de las nubes proyectar algunas veces su sombra en esta niebla. El sol en las altas horas del dia aparece de un color amarillo pálido, y á medida que se acerca al horizonte toma una tinta rojiza muy fuerte, y tan velado, que puede impunemente mirarse á simple vista. A este metéoro deben referirse las *calinas* tan frecuentes en los meses mas cálidos del año.

1155. Las *nubes* son tambien grandes masas de vapor acuoso flotantes en la atmósfera. A veces se forman por la sola elevacion de las nieblas, de las que no difieren, sino por el lugar mas ó menos elevado que ocupan. Otras veces se forman en medio del aire, ó por el encuentro de vientos húmedos y diferentemente calientes, ó por la condensacion de los vapores que se han elevado en grande abundancia á regiones demasiado frias, para que puedan quedar en estado elástico.

1156. Innumerables son las formas que afectan las nubes y que no es fácil explicar. Y como segun estas apariencias se ven producir varios metéoros, los meteorologistas, para poderlos estudiar mejor, adoptan las denominaciones imaginadas por Howard, y los clasifican en tres especies principales llamadas *cirros*, *cúmulos* y *estratos*; y en cuatro compuestos á saber, *cirro-cúmulos*, *cirro-estratos*, *cúmulo-estratos*, y *nimbos*.

1157. Los *cirros* son unas nubes blanquecillas formadas de filamentos derechos, paralelos ó divergentes parecidos á la lana cardada. Estas nubes, que son las mas elevadas, se creen formadas por cristalitos de hielo sumamente pequeños. En esta clase de nubes el sol y la luna forman casi siempre sus halos.

1158. Los *cúmulos* son nubes voluminosas de forma mas ó menos redondeada, que presentan el aspecto de montañas hacinadas unas sobre otras, terminando por su parte inferior en superficie horizontal. Su formacion suele suceder desde 9 á 10 horas de la mañana despues de una noche serena ó de una mañana de niebla; creciendo á medida que el sol se eleva, y por la tarde vuelven á disiparse: en caso contrario suelen indicar lluvia ó tempestad, sobre todo si están coronados por cirros; se elevan no pocas veces á una altura que pasa de 4000 y 5000 metros. El aspecto de los cúmulos está en relacion con el movimiento barométrico, su formacion coincide con su descenso, y su desaparicion con su elevacion. Como los vientos tienen mayor velocidad cuanto mas elevados soplan, la cabeza ó parte superior de

los cúmulos corre con mayor velocidad que su base, lo que les da una forma inclinada, que hace conocer su direccion.

1159. Los *estratos* son nubes lisas formadas de vapores contínuos y muy extendidos en sentido horizontal; y suelen formarse cuando el sol se pone, y disiparse á su salida. Esta clase de nubes suele hallarse mucho mas baja que las precedentes; pero no pocas veces se forman en regiones muy elevadas, cubriendo todo el cielo, ó una gran parte de él.

1160. Los *cirro-cúmulos* son nubes redondeadas de pequeño volúmen separadas entre sí, pero con alguna tendencia á unirse en un plano horizontal. El vulgo las llama *nubes aborregadas;* y cuando se ponen delante del sol ó de la luna suelen formar un arco irisado de 8° ú 6°, ó simplemente tomar un color mas ó menos anaranjado.

1161. Los *cirro-estratos* son nubes muy parecidas á los cirros, aunque mas compactos, que cubren todo ó casi todo el cielo, á través de los cuales apenas pueden pasar los rayos del sol ó de la luna.

1162. Los *cúmulo-estratos* son nubes semejantes á los cúmulos, pero mas densos y terminados por arriba y por abajo en superficie horizontal. Estas nubes suelen pasar á la forma de estratos elevados ó á la de nimbos.

1163. Los *nimbos ó nubes de lluvia* son grandes nubes de forma cúmulo-estrato muy extendidas por la parte del horizonte y con un color uniforme oscuro, pardo ó azulado y con bordes lineales dirigidos hácia la tierra.

1164. Muy semejantes á las precedentes, y que muchas veces se confunden con ellas ,son las *nubes tempestuosas* que presentan el mismo color gris, que tira al ceniciento. A veces el centro de estas nubes es mas claro que los bordes, observándose en ellas movimientos rápidos ocasionados casi siempre por el viento. Antes de la tempestad la atmósfera se presenta muy trasparente en los claros que dejan las nubes, resultando de ahí la intensidad de los rayos solares, cuya accion se expresa diciendo, que el *sol pica*. Antes de aparecer una nube tempestuosa suelen verse en muchas localidades unas nubecillas blancas y muy sueltas, llamadas *ascitesis ó precursoras*, que se mueven con gran velocidad hácia un centro, donde son atraidas y repelidas, cuyo centro se hace muy pronto visible por la nube, que toma un aspecto tempestuoso.

1165. Para esplicar como las nubes en masas tan grandes pueden quedar suspendidas en la atmósfera, Halley emitió la hipótesis que siguieron la generalidad de los físicos, casi hasta nuestros dias, á saber, que las nubes están formadas de una infinidad de vegiguitas sumamente pequeñas, que llenas de un aire mas caliente que el del ambiente, pueden elevarse mas ó menos, flotando en el aire como los globos aereostáticos. Al presente muchisimos físicos sostienen lo

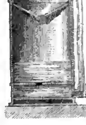
contrario, á saber, que las nubes son una masa de gotitas sumamente pequeñas y tales, que pueden quedar suspendidas en la atmósfera por efecto de las corrientes ascendientes de aire caliente, como vemos que lo está el polvo muy ligero levantado por el viento. A la verdad se hace inconcebible, que moléculas sumamente apartadas entre sí como lo están las que constituyen el vapor acuoso en estado elástico, se reunan para formar una superficie cerrada por todas partes, sin que se rompa con los mútuos y contínuos choques á que está expuesta.

CAPÍTULO VII.

DE LA LLUVIA, NIEVE Y GRANIZO.

1166. Condensándose los vapores en las regiones elevadas de la atmósfera, resulta el meteoro que llamamos *lluvia*, la cual puede caer en gotitas muy pequeñas ó lloviznas, en lluvia fuerte, y en lluvia torrencial.

1167. Para medir la cantidad de lluvia que cae sobre la superficie de la tierra, se emplea un instrumento llamado *pluvímetro* ó *udómetro* cuya seccion vertical presenta la fig 206, y consiste en un vaso de metal de forma cilíndrica ó cúbica cerrado por su parte superior con una tapa en forma de embudo terminado por un borde vertical; la lluvia pasa al vaso por un pequeño orificio, evitando de este modo, que se evapore el agua recogida. De la parte inferior del vaso sale un tubo que comunica con el mismo vaso y se eleva verticalmente. Como el nivel del agua en el tubo es el mismo que el del vaso, se halla fácilmente la cantidad de agua, que ha caido, por medio de una escala dividida en milímetros, que se pone al lado del tubo. Para apreciar con mas exactitud la lluvia recogida, se hace uso del *pluvímetro* multiplicador. En este, el cilindro donde se recoge y mide la lluvia, tiene una seccion 10 ó 100 veces menor que la abertura del embudo, que recibe la lluvia, por lo que la altura de esta es 10 ó 100 veces mayor, pudiéndose de este modo apreciar los décimos ó centésimos de milímetro.


(Fig. 206)

1168. Muchas causas locales pueden hacer variar la cantidad de lluvia, que cae en los diferentes paises : pero en igualdad de circunstancias ,en los paises calientes debe llover mas que en los frios, porque la evaporacion en ellos es mas abundante. Las observaciones hechas en diferentes lugares han dado á conocer que la lluvia disminuye desde el ecuador á los polos, pero mas notablemente desde las costas hácia el interior extenso de los continentes, como tambien disminuye á medida que los terrenos se van elevando poco á poco. Así mientras en las costas de Portugal al Norte del Tajo se recogen de 3 á 3,4 metros de lluvia anualmente, en el interior de Castilla solo se recogen de 0,4 á 0,5 metros.

1169. Las lluvias en el Ecuador, segun algunos meteorologistas,

coustituyen una zona, un poco al Norte del Ecuador geográfico, donde por la cantidad de lluvia que allí cae, se considera como el ecuador de la lluvia máxima de la tierra. A los dos lados de este ecuador se extienden dos fajas mas anchas en las cuales las lluvias son periódicas, esto es, en épocas determinadas del año. En algunos puntos como las costas del Perú, el interior del Africa, y otros, apenas llueve eu todo el año, cuyo fenómeno se atribuye á la accion enérgica del sol unida á la situacion topográfica de estos paises.

1170. Se llama *lluvia torrencial* el fenómeno, por el cual en pocas horas cae una cantidad muy considerable de lluvia. Estas lluvias son frecuentes en la zona tórrida. Tambien en Europa suceden estas lluvias torrenciales aunque raras veces. Una de las mas extraordinarias que se conocen es la que cayó en Génova el 25 de octubre de 1822 en que se recogieron 82 milimetros de agua, y la que tuvo lugar en la misma ciudad el 20 de mayo de 1827 que cayerou 144 milímetros en tres horas.

1171. Cuando los vapores acuosos se coudensan en temperaturas inferiores á cero, tiene lugar el metéoro llamado *nieve*, la se cual precipita lentamente en forma de copos espoujosos, que resultan de un número muy grande de cristalitos estrellados y radificados de distintas maneras, cuya variedad y regularidad son admirables. En la figura 207 pueden verse las formas mas notables, que se obser-



(Fig. 207.)

van, recibiendo la nieve sobre un pedazo de paño negro, y mirándolo con un microscopio. Algunas veces la nieve cae en cristalitos sueltos y mezclados con agua, en cuyo caso toma el nombre de *nevisca*. El fenómeno de la nieve, desconocido eu muchas regiones intertropicales, es tanto mas frecuente, cuanto mas cerca está un lugar de los polos, ó cuanto mas elevado está sobre el nivel del mar. Así cerca de los polos la tierra está constantemente cubierta de nieve,

como tambien las cimas de las montañas elevadas ecuatoriales, como el Chimborazo y otros.

1172. El *granizo* consiste en unos glóbulos mas ó menos voluminosos de hielo, que se desprenden de las nubes tempestuosas. Su magnitud suele ser la de una avellana, pero muchas veces es mayor, llegando á veces al volúmen de un huevo, y hasta se han recogido granizos del peso de 3 y 4 libras, como en la tempestad que descargó sobre Cazorla y otros puntos de España el 15 de julio de 1829. Su forma suele ser esférica con un nucleo opaco, como de nieve compacta. Algunas veces el granizo está formado de capas distintas alternativamente opacas y diáfanas. Otras veces tiene una estructura radiada desde el centro. Alguna vez los granizos son fragmentos de granizos de un tamaño mayor.

1173. Cual sea la altura de las nubes, que arrojan el granizo, no está averiguado, si bien en diferentes casos se ha observado caer de nubes poco elevadas. Estas nubes tienen sin embargo una extension y profundidad considerables, porque producen una oscuridad extraordinaria. Su superficie interior se observa como rota por varias partes y muy irregular, y los bordes rasgados. La caida del granizo está siempre precedida de un ruido particular, que dura mas ó menos tiempo, debido sin duda al choque mutuo de los granizos entre sí. Generalmente á las tempestades de granizo acompañan vientos fuertes y en varias direcciones, y tambien fenómenos eléctricos.

1174. Varias son las teorías que se han propuesto para explicar la formacion del granizo. Segun Volta el granizo formado bajo la influencia de la electricidad en una region suficientemente fria para producir la congelacion del vapor acuoso, es sucesivamente atraido y rechazado entre dos nubes contrariamente electrizadas, creciendo el volúmen del granizo por la congelacion de los vapores que encuentra en su paso, mientras va de una nube á otra. Esta teoría no puede admitirse, pues si así fuese, mucho mas atraidas serian las mismas nubes.

1175. Algunos meteorologistas suponen que ese frio tan intenso, que en primer lugar determina la produccion del granizo es un efecto de una corriente de viento, en particular del que se propaga por aspiracion, que sin duda es capaz de originar un descenso de temperatura mas ó menos rápido y fuerte, segun el grado de su velocidad. Este mismo viento soplando en una direccion oblicua ú horizontal, arrastra con su impetuosidad los granizos ya formados, que hallándose en medio de nubes muy densas y frias, adquieren en breve tiempo el volúmen que determina su caida.

1176. Segun M. Strumbo el granizo es una consecuencia de una tromba preexistente, ó en las regiones superiores entre dos nubes sobrepuestas electrizadas contrariamente, ó entre una nube y la tierra electrizada en sentido opuesto, la cual arrastrando las gotitas de agua, ó las moléculas del vapor acuoso, á una altura considerable, y á regiones muy frias, determinan su congelacion, produciéndose granizos, cuyo volúmen será tanto mayor, cuanto mayor será la altura de la tromba, y mas saturado de vapor el espacio intermedio. Esta teoría explica todos los fenómenos que presenta este metéoro.

CAPÍTULO VIII.

DE LA ELECTRICIDAD ATMOSFÉRICA.

1177. Los fenómenos que se acaban de citar, nos conducen naturalmente al estudio de la electricidad de la atmósfera, causa y orígen de otros muchos fenómenos importantísimos.

1178. No solo en tiempo de tempestad, sino tambien con un cielo perfectamente sereno, la atmósfera se observa cargada de electricidad; la cual es siempre positiva con un cielo sereno, aun cuando el suelo está cubierto de nieve: pero cuando hay nubes, la electricidad se observa ya positiva, ya negativa, cambiando á menudo varias veces de signo durante el dia.

1179. Muchas son las causas que pueden dar orígen á la electricidad habitual de la atmósfera, como son los fenómenos de la vegetacion de las plantas, la respiracion de los animales, la combustion, el roce del aire contra el suelo, el distinto calentamiento de la tierra por los rayos del sol, y sobre todo la abundante evaporacion de las aguas, siendo de notar que siempre que el agua contiene en disolucion la mas mínima cantidad de un álcali ó de una sal, el vapor que se desprende está electrizado positivamente y la disolucion negativamente, como puede observarse calentando la solucion en un vaso de platino colocado en el plato del electrómetro condensador.

1180. Los aparatos de que se hace uso para conocer la electricidad de la atmósfera, se reducen á los electrómetros ordinarios, cuya varilla metálica de unos 6 decímetros de alto remata en una esferita, ó en punta, ó bien en una pequeña lámpara. En este último caso la llama enrarece el aire, que se convierte así en mejor conductor; pero es necesario no confundir entonces la electricidad que proviene de la combustion, con la de la atmósfera que se investiga, para lo cual se establece la comunicacion de la varilla con el electrómetro por medio de un tubito lleno de agua destilada, que tiene suficiente conductibilidad para trasmitir la electricidad del aire, pero no para la que resulta de la combustion.

1181. Cuando se quiere observar la electricidad del aire á una altura considerable, se lanza verticalmente una flecha ó una esfera metálica fija á un hilo conductor, cuya extremidad termina en un anillo, que puede correr á lo largo de la varilla del electrómetro, y que se separa de ella, cuando la flecha ha desarrollado completamente el hilo: la divergencia de las pajuelas que se observa en aquel instante mide la electricidad de la atmósfera en la altura á que llegó el proyectil.

1182. De este modo se ha observado que la electricidad del aire va creciendo de intensidad á medida que nos elevamos en la atmósfera, no comenzando á manifestarse sino á la distancia de 1 á 2 metros del suelo, y faltando completamente toda señal eléctrica en el interior de los edificios, en las calles, debajo de los árboles, y en general en todos los lugares poco espaciosos.

1183. Las observaciones que sobre este objeto se han practicado con regularidad en estos últimos años, han dado á conocer que la intensidad de la electricidad atmosférica está sujeta á dos mínimos y á dos máximos diversos; los primeros tienen lugar unas dos horas antes de salir y de ponerse el sol, y los segundos suceden dos ó tres horas despues de la salida y de la puesta del sol. Además se ha observado que la tension eléctrica es mayor en invierno, que en verano, creciendo desde julio á enero, y decreciendo desde enero á julio.

1184. Estas oscilaciones eléctricas se explican por medio de las variaciones que sufre la humedad del aire durante el dia. En efecto, acumulada una gran cantidad de fluido eléctrico en las altas regiones de la atmósfera, esta tiende á esparcirse por el aire inferior, merced á la conductibilidad que le comunican los vapores de que está mas ó menos cargada. Por lo que tanto en un tiempo muy húmedo como en uno muy seco, los electrómetros colocados muy cerca de la superficie de la tierra apenas podrán dar señales de la electricidad que existe en aquellas elevadas regiones, y esto es lo que se observa antes de la salida del sol, y pocas horas antes que se ponga. Entre estos puntos extremos el aire se halla con tal humedad, que ni es demasiado buen conductor, ni demasiado aislante, con lo que el electrómetro dará él máximo de tension por la electricidad que puede actuar sobre él; lo que tiene lugar pocas horas despues de la salida del sol, en que el aire calentándose se aleja del punto de saturacion de humedad; y alguna hora despues que el sol se ha puesto por la disminucion de temperatura que lo acerca otra vez al punto de su saturacion.

1185. Bajo la influencia de la electricidad atmosférica, el oxígeno del aire adquiere propiedades químicas particulares que le han valido el nombre especial de *ozono* (543): una de ellas es la de descomponer el ioduro de potasio, lo que suministra un medio fácil para evaluar la cantidad de oxígeno que se halla en este estado, y por consiguiente tambien la de la electricidad atmosférica que lo produce. Al efecto se preparan tiras de papel que se mojan en un agua almidonada, que contiene ioduro de potasio en disolucion, y secas se exponen al aire, de modo que no le dé el sol, ni la lluvia. El ozono separa el iodo, que en contacto del almidon produce la reaccion conocida coloreando el papel en morado tanto mas cargado, cuanto mayor es el ozono contenido en la atmósfera. Despues de un tiempo determinado de exposicion se moja el papel en agua destilada, y así mojado se compara su tinta con la de una escala graduada en **21** tintas, que forman una especie de escala cromática cuyo cero corresponde al blanco con $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$ etc., de morado, la 11.ª y siguientes son el morado con $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$ etc. de negro, de modo que la última es el negro puro.

1186. Las observaciones oronométricas, aunque están aun en sus principios, ofrecen ya un grande interés, pues se ha reconocido que durante la epidemia del *cólera morbo* los papeles oronométricos no daban señal alguna de orono, lo que supone un estado anormal en la electricidad habitual atmosférica.

CAPÍTULO IX.

DEL RELÁMPAGO, DEL TRUENO Y DE LOS PARARAYOS.

1187. Como se indicó en el capítulo precedente, las nubes se hallan electrizadas ya positiva ya negativamente. Estando la atmósfera constantemente cargada de electricidad positiva, facilmente se comprende, que al condensarse los vapores en las altas regiones del aire, se cargarán tambien de la misma electricidad. Las nubes electrizadas negativamente pueden provenir, ó de las nieblas que en contacto de la tierra se cargan de esta electricidad, y elevándose luego la conservan, ó bien de la influencia de otras nubes electrizadas positivamente. Segun los experimentos de M. Becquerel, en el contacto de las tierras con las aguas, hay siempre desarrollo de electricidad positiva ó negativa, segun la naturaleza de sales ú otros compuestos disueltos en el agua; de lo que se infiere que los vapores que se desprenden, y que luego condensándose, producen las nubes, podrán hallarse cargados de una ó de otra electricidad.

1188. La electricidad contraria de las nubes adquiere no pocas veces una extraordinaria tension, por la que pudiendo vencer la resistencia del aire intermedio, se precipita una electricidad sobre otra produciendo el fenómeno conocido con el nombre de *relámpago*, cuyo fenómeno es enteramente semejante á la chispa que se saca de la máquina eléctrica, al acercarle la mano. Pero no siendo las nubes perfectos conductores de la electricidad, aunque se descarguen en una parte de su inmensa extension, conservan en otra su carga; y así en vez de quedar en equilibrio se acumulan y se repliegan sobre sí mismas, cambiando de forma bajo la influencia de la electricidad y produciendo nuevos relámpagos.

1189. La recomposicion de los flúidos eléctricos contrarios tiene á veces lugar entre la nube y el suelo, y entonces el relámpago toma el nombre de rayo ó centella, la cual puede ser desde la nube á la tierra, ó al revés, si la tierra se halla cargada de electricidad positiva, pues esta vence con mas facilidad las resistencias, que no la negativa.

1190. El relámpago no pocas veces se extiende á muchos kilómetros de distancia produciendo en su paso una luz muy brillante y

clara en las regiones bajas de la atmósfera, y algo violácea en las elevadas. Este metéoro se manifiesta de varias maneras diferentes: 1.ª en forma de una ráfaga de fuego de contornos bien determinados, que corre con suma velocidad, y se propaga en zigzac por efecto de la mayor ó menor conductibilidad, que le ofrece el intermedio. A veces se divide en dos ó mas ramas y se dirige hácia partes opuestas de un centro, en que aparentemente ha tenido orígen. 2.ª En forma de una luz difusa deslumbradora que ilumina súbitamente una grande extension, sin presentar contorno alguno. Esta clase de relámpagos es muy frecuente en las noches de verano, tomando entonces el nombre de *relámpagos de calor*, los cuales muchas veces se observan, sin que se divise nube alguna en todo el horizonte. Parece que esta segunda clase de relámpagos, aun los de *calor*, es simplemente un efecto de la luz que proyectan los relámpagos de la primera especie sobre las nubes, ó en los vapores de que en tales circunstancias está muy cargada la atmósfera. 3.ª Finalmente, algunas veces el relámpago aparece en forma de un globo de fuego que estalla con terrible estruendo, y bajo esta forma se observa frecuentemente penetrar el rayo en los edificios. Su orígen es desconocido.

1191. Al relámpago acompaña otro meteoro, que es el *trueno*, ó sea un estruendo mas ó menos intenso y prolongado. El trueno y el relámpago son simultáneos, pero como la luz emplea un tiempo inapreciable en su propagacion desde la nube al observador, y el sonido solo recorre el espacio de unos 340 metros por segundo, así entre los dos fenómenos intermedia un cierto tiempo segun la distancia de la nube. Cuando el relámpago salta cerca del observador, el ruido del trueno es seco y de corta duracion. Produciéndose á alguna distancia, se oye una série de ruidos, que se suceden sin interrupcion, y cuya intensidad no pocas veces va en aumento. Sin duda alguna el ruido del trueno se produce en todos los puntos de la línea que traza el relámpago, y como estos se hallan á muy diferente distancia del observador, así el ruido debe durar por un cierto tiempo. Supóngase un observador en la prolongacion de un relámpago de 5 kilómetros de longitud y á un kilómetro de distancia; antes de comenzar á oir el trueno pasarán unos 3″ y él continuará oyéndolo por otros 15″. Además el trueno producido en un punto, reflejándose ya en las nubes, ya tambien en el suelo, puede dar orígen á retumbos mas ó menos intensos, mas ó menos prolongados. Finalmente, no siendo igualmente intensa la luz del relámpago en toda su longitud, de creer es que tampoco el trueno podrá tener la misma intensidad. Puede ser que hallándose el aire en un máximo de compresion en los ángulos salientes de los zigzacs del relámpago, ocasione el aumento de intensidad de la luz y del sonido.

1192. Cuando el relámpago estalla á grandes distancias, se ve la

luz, pero no es posible oir el trueno por su débil fuerza A dos leguas de distancia apenas se puede oir, y no obstante muchísimas veces se observan los relámpagos, principalmente los de calor, á una distancia de 8, 10 y mas leguas. Finalmente cuando la nube tempestuosa llega al zénit del observador á veces se oye el trueno mas presto de lo que pide la distancia á que cae el rayo; lo que se explica suponiendo que las nubes conduzcan mejor el sonido que el aire, y tambien que el relámpago haya pasado de un punto de la nube mucho mas cercano al observador que el punto de la tierra sobre que cayó el rayo.

1193. Obrando las nubes electrizadas por influencia sobre todos los cuerpos, y acumulándose la electricidad en los parajes mas prominentes, sobre estos de preferencia cae el rayo. Así los edificios mas elevados, los árboles, los montes son los mas expuestos al rayo; con todo en la acumulacion de la electricidad influye sobremanera la naturaleza y humedad del suelo, y de las capas inferiores, como tambien la profundidad y corpulencia de las raices de los árboles elevados.

1194. Muchos son los efectos del rayo enteramente análogos á los que produce la descarga de una batería eléctrica. Mata á los animales, inflama las materias combustibles, funde y volatiliza los metales, rompe los cuerpos poco conductores, y cayendo sobre objetos de hierro los imanta é invierte á menudo los polos de las agujas magnéticas. Penetrando en el suelo á través de capas terrosas poco conductoras, como son las substancias silíceas, las vitrifica, produciendo unos tubos llamados *fulguritos ó tubos del rayo*. A veces á distancias considerables del punto, en que ha caido el rayo, se experimenta una violenta conmocion que puede ser mortal, denominada *choque de retroceso*, el cual proviene de que los cuerpos que se hallan dentro de la esfera de actividad de la nube tempestuosa y están electrizados por su influencia, al descargarse la nube, vuelven repentinamente á su estado natural.

1195. Para evitar los funestos efectos del rayo, Franklin inventó un aparato llamado *para-rayos*, que se compone de una varilla metálica terminada en punta, que se coloca sobre el edificio que debe proteger y se pone en comunicacion con el suelo por medio de un conveniente conductor. Se ha reconocido que un para-rayos protege á su alrededor un espacio circular de un radio doble de su altura. Así un para-rayos de 9 metros de altura resguarda un área de 36 metros de diámetro. La varilla suele tener por base un cuadrado de unos cinco centímetros de lado, y su longitud es de unos 9 metros terminando en una punta de cobre dorado ó de platino, para que no se oxide. El conductor, que debe tener á lo menos un centímetro cuadrado de seccion, es una cuerda formada de alambres de hierro ó de cobre, la cual por un extremo se une íntimamente con la base de la varilla, y

por el otro se hace penetrar en el suelo hasta cinco ó seis metros de profundidad, extendiéndola en algunas ramificaciones, para que mejor comunique con él. Finalmente si en el edificio protegido por el pararayos hay cubiertas ú otras piezas grandes de metal, todas se deben poner en comunicacion con el conductor.

CAPÍTULO X.

FENÓMENOS PRODUCIDOS POR EL MAGNETISMO TERRESTRE.

1196. Los fenómenos magnéticos, que como se vió tratando de la electricidad dinámica, tienen un íntimo enlace con ella, constituyen una parte muy importante del estudio de la Meteorología: y si bien de su conjunto aun no es dable establecer las leyes á que están sujetos, con todo ya ofrecen datos muy interesantes.

1197. En todos los puntos del globo la declinacion de la aguja magnética está sujeta á muchas variaciones, que pueden dividirse en seculares, anuales y diurnas. Las variaciones anuales apenas son conocidas. Por lo que toca á las seculares en Paris desde 1580, en que la declinacion era de 11° 30' al Este, fué disminuyendo hasta 1663, en que era cero; desde esta época desvió siempre mas y mas hácia el Oeste hasta 1814, en que llegó á 22° 34'; desde entonces retrocede otra vez siendo á últimos de octubre de 1858 de 19° 41' Oeste. El mismo fenómeno se ha observado en todas partes donde se han hecho observaciones por algun tiempo notable. Pero hasta ahora no se conoce ni con qué ley aumenta ó disminuye esta variacion, ni la amplitud del movimiento, ni si el cambio de declinacion es periódico, ni finalmente si la duracion del período es diferente en los diferentes puntos del globo.

1198. Las variaciones diurnas de la aguja magnética consisten en ciertas oscilaciones que ejecuta diariamente con regularidad, las cuales siendo muy pequeñas, es necesario servirse de aparatos muy sensibles para poderlas observar. En el hemisferio boreal la aguja magnética tiene ordinariamente su máxima desviacion al Este por su polo austral entre 6 y 8 horas de la mañana, luego retrocede hasta la 1, 2, ó 3 horas de la tarde hácia al Oeste, en seguida vuelve con gran lentitud hácia al Este, hasta llegar otra vez á su máximo en la mañana siguiente. La amplitud de la oscilacion es muy pequeña cerca del Ecuador y va creciendo hácia los polos. Así en Guatemala, cuya latitud es de 14° 37', es de unos 4' 30" por término medio anual, mientras en Paris llega á 12'. Además este ángulo es muy variable: dias hay que apenas llega á un minuto en Guatemala, y otros dias pasa de 8 minutos: generalmente se observa que en verano es mayor que en invierno. En el hemisferio austral tambien se

observa esta oscilacion diaria, pero por el polo opuesto; es decir que mientras en el hemisferio boreal se dirige hácia el Este el polo sur de la aguja, en el otro hemisferio se dirige el polo Norte.

1199. Una circunstancia muy notable se observa en este movimiento diurno, y es que en varias regiones de América la aguja magnética hace dos oscilaciones en vez de una. Habiendo tenido ocasion de observar en Guatemala la declinacion magnética por seis años consecutivos, pude tambien verificar este mismo fenómeno, con la particularidad, que desde principios de noviembre hasta mediados de marzo se observan bien las dos oscilaciones, cuya máxima desviacion hácia el Este tiene lugar entre 9 y 10 horas de la mañana y entre 6 y 8 horas de la tarde, y la mínima entre 6 y 7 horas de la mañana y 1 y 3 horas de la tarde: en lo restante del año, á saber, desde mediados de marzo hasta últimos de octubre se observa una sola oscilacion, cuya máxima y mínima desviacion sucede como de ordinario, á saber la primera entre 6 y 8 de la mañana, y la segunda en las primeras horas de la tarde.

1200. Observándose una relacion notable entre los movimientos de la aguja magnética y la posicion del sol, debe necesariamente admitirse una influencia real entre el sol y el magnetismo terrestre: pero no es fácil determinar si esta influencia es directa ó indirecta, esto es si el sol es un verdadero iman, ó bien si su accion se ejerce por medio de las variaciones de temperatura, que se producen en la superficie de la tierra segun la posicion diurna y anual del sol.

1201. Lo que se ha dicho de la declinacion magnética, debe tambien decirse de la inclinacion. Así en Paris desde 1671, en que se observó de 75° ha ido constantemente disminuyendo, y en 1860 por noviembre se halló ser de 66° 11′. Igualmente la aguja de inclinacion sufre variaciones diurnas, las cuales teniendo menos amplitud que las de la aguja de declinacion, son mucho mas difíciles de observar.

1202. Además de las referidas variaciones, que pueden llamarse *regulares*, hay varias causas accidentales que producen perturbaciones mas ó menos notables: tales son los temblores de tierra y las erupciones volcánicas. Así se observó en Nápoles en 1839 que despues de una erupcion del Vesubio la declinacion disminuyó bruscamente de un medio grado. En Guatemala el 8 de diciembre de 1859 en que se experimentó un fuerte temblor de tierra, la declinacion disminuyó bruscamente de unos 5′.

1203. Pero sobre todo las auroras boreales son las que producen mas fuertes perturbaciones. Durante la aurora boreal la aguja magnética sufre desviaciones considerables, no solamente en los parajes donde es visible, sino tambien en otros muy remotos. Así durante las famosas auroras boreales de 28 de agosto y 2 de setiembre de 1859, que fueron visibles en gran parte de Europa y en los Estados Unidos, no solamente en estas regiones se observaba una continua

y extraordinaria perturbacion magnética, sino tambien en Guatemala, que llegó á 17′ el primer dia y 18′ en el segundo.

1204. Observando el número de oscilaciones que una aguja magnética de declinacion hace en un tiempo dado, se han podido reconocer los siguientes datos acerca de la intensidad de la fuerza magnética del globo. 1.º Que esta intensidad crece desde el Ecuador magnético hasta los polos. 2.º Que decrece á medida que nos elevamos en la atmósfera, probablemente en razon inversa del cuadrado de las distancias. 3.º Que varía en las diferentes horas del dia, teniendo su máximo entre las 4 y 5 horas de la tarde, y su mínimo entre las 10 y 11 horas de la mañana. 4.º Que sufre tambien sus perturbaciones como la declinacion é inclinacion.

1205. Los meteorologistas han llamado *líneas isógonas* á una serie de puntos sobre el globo, en que la declinacion de la aguja magnética es igual, *líneas isoclinas* á la serie de puntos en que la aguja tiene igual inclinacion, y *líneas isodinámicas* á la serie de puntos en que se observa la misma intensidad magnética. Las curvas isodinámicas que se conocen tienen mucha analogía en su curvatura y direccion con las *líneas isotermas*: las líneas isoclinas imitan los paralelos de latitud, y las isógonas los meridianos. Por lo demás estas líneas son muy poco conocidas.

1206. Con el magnetismo terrestre se relacionan las auroras boreales, ó mas bien *polares*, á cuya aparicion, como ya se ha dicho, suele preceder y acompañar una perturbacion mas ó menos notable de la aguja magnética, aun en regiones muy distantes de los lugares en que se observa la *aurora*. Este brillante metéoro, cuyos aspectos son sumamente variados, en su generalidad consiste en una luz particular que suele aparecer frecuentemente en la atmósfera en las regiones polares, llamándose *aurora* austral la que se observa en el polo austral. Ordinariamente el fenómeno principia por una luz análoga á la de los primeros albores del dia, que luego se trasforma en una especie de arco blanco-amarillo con su concavidad hácia la tierra, cuya intensidad luminosa parece trasladarse de unos puntos á otros imitando las ondulaciones ó pliegues de un lienzo agitado por el viento. Este arco, cuyo punto culminante corresponde al meridiano magnético, va levantándose hácia el cénit hasta separarse á veces de la tierra por uno de sus extremos ó por los dos, y aun hasta cerrarse, en cuyo caso se denomina *corona boreal*. De todos los puntos del arco luminoso parten rayos de luz semejantes á ráfagas de fuego, que avanza muchas veces hasta el cénit convergiendo todos hácia un mismo punto del cielo, indicado por el polo Sur de la aguja de inclinacion, á donde tal vez concurren, figurando entonces una inmensa cúpula luminosa.

1207. Este metéoro es uno de los mas difíciles de explicar; con todo la posicion constante del arco con relacion al meridiano magnético, el punto de convergencia de las irradiaciones indicado por la

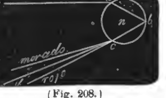
brújula de inclinacion, las perturbaciones que sufre la aguja magnética poco antes del feuómeno y durante el mismo, y finalmente la influencia poderosa que las grandes auroras boreales del 28 de agosto y 2 de setiembre de 1859 y muchas otras han ejercido sobre los alambres de los telégrafos eléctricos, por la cual espontaneamente se ponian en movimiento los aparatos de las estacioues, dan á entender que este grandioso metéoro es producido por corrientes eléctricas, que se desprenden de los polos magnéticos hácia las elevadas regiones de la atmósfera.

CAPÍTULO XI.

FENÓMENOS LUMINOSOS DE LA ATMÓSFERA.

1208. Cuando un observador se halla de espaldas al sol y delante de una nube que se resuelve en lluvia, ve en la nube un grande arco luminoso con los colores del espectro solar que se denomina *arco iris*. Este arco limita la base de un gran cono, cuyo vértice se hallase eu el ojo del observador, y cuyo eje fuese la recta que pasa por el mismo ojo y el sol. El mismo fenómeno tiene lugar tambien cuando un observador se halla en análogas circunstancias delante de una cascada ó de un surtidor, y es una consecuencia de la reflexion, refraccion y descomposicion que sufren los rayos solares incidentes en las gotitas de agua esparcidas por el aire.

1209. Para que se comprenda este fenómeno sea S *a* (fig. 208) un rayo incidente sobre la gota *n* de lluvia; parte de la luz que penetra en ella por el punto *a*, se refractará segun la direccion *a b*, la que penetra por el punto *b* se reflejará segun la línea *b c*, y emergerá refractándose segun la direccion *c d*, dispersándose sus colores segun el diferente grado de su refrangibilidad. De lo que se sigue que no todos los rayos incidentes sobre una gota emergerán de modo que lleguen al ojo del observador colocado en *d*, pues para esto es necesario que el rayo incidente con el emergente haga un cierto ángulo llamado *ángulo de desviacion*, que se halla ser de 42° 2′ para el color rojo, y de 40° 17′ para el morado. Por tanto en todas las gotitas dispuestas de modo que el ángulo de desviacion tenga estos valores se percibirá el fenómeno, cuya repeticion en la sucesion rápida y constante de las gotas de agua determina en el espacio la formacion del arco luminoso, el cual no podrá ser visible sino cuando el sol se hallará sobre el horizonte á una elevaciou menor que el ángulo de desviacion. Tam-



(Fig. 208.)

bien la luna puede dar orígen al arco íris en cuyo caso se llama *arco lunar*.

1210. Muchas veces aparece un segundo arco de mayor dimension concéntrico con el primero, y cuyos colores mas débiles están dispuestos en un órden invertido, por cruzarse el rayo incidente con el emergente despues de dos refracciones y dos reflexiones como indica la fig. 209. En este segundo arco el ángulo de desviacion es de 50° 57′ para el color rojo y de 54° 7′ para el morado.



(Fig. 209.)

1211. Se da el nombre de *coronas* á unos círculos concéntricos que aparecen á veces al rededor del sol ó de la luna, cuyo diámetro interior varia de uno y medio á cuatro grados: estas coronas unas veces se presentan blancas y otras coloradas con los colores del espectro solar, y se creen producidas por la reflexion y refraccion de la luz del astro en los pequeños globulitos de agua de un diámetro uniforme esparcidos en la atmósfera.

1212. No pocas veces se ve el sol y tambien la luna, rodeados de uno ó dos círculos debilmente colorados con el color blanco y el color rojo conocidos con el nombre de *halos*. Algunas veces acompaña á los halos otro gran círculo blanco horizontal que pasa por el mismo sol, y que en los puntos en que corta al halo produce unos colores muy vivos que se llaman *parelios* por asemejarse al sol, y *paraselenas* cuando acompañan á la luna. Al mismo tiempo se ven otros círculos ó arcos ya concéntricos con los halos, ya tangentes, y tambien otro vertical que pasa por el astro. Estos fenómenos son muy difíciles de explicar, pero se suponen producidos por la refraccion y descomposicion de la luz en las partículas congeladas en forma de pequeñísimos prismas, de los vapores acuosos existentes en aquellas regiones muy elevadas y frias de la atmósfera. Cuando aparecen estos fenómenos, el cielo está mas ó menos cubierto de cirro-estratos.

1213. No siendo la atmósfera terrestre perfectamente diáfana, sus moléculas reflejan en todos sentidos una parte de los rayos luminosos del sol, particularmente los azules, resultando de aquí su color azul que la distingue, el cual se hace mas y mas oscuro á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar, por hallarse el aire siempre mas y mas enrarecido. La presencia de los vapores en mas ó menos cantidad modifica el colorido particular de la atmósfera, principalmente cuando el sol sale ó se pone.

1214. Se designa con el nombre de *crepúsculo* á una luz difusa

sonrosada que precede á la salida del sol, y le sigue despues que se ha puesto. El crepúsculo de la mañana se denomina tambien *aurora*. Este fenómeno proviene de la reflexion de la luz de las partes superiores de la atmósfera iluminada por el sol, mientras este se halla debajo del horizonte. El crepúsculo comienza ó acaba al llegar el sol á unos 18° debajo del horizonte. Por lo que su duracion depende del tiempo que el astro emplea en recorrer este arco, y por consiguiente de su mayor ó menor oblicuidad : en las zonas templadas dura poco mas de una hora, pero hácia los polos llega á mas de un mes y medio de duracion.

1215. Alguna vez estando el sol en la faja crepuscular, se interponen á sus rayos nubes sueltas ó bien la cima de una alta montaña; en tales casos se pinta en la bóveda celeste una especie de abanico de rayos blanquecinos divergentes hasta el cénit del observador, desde donde á veces por un efecto de perspectiva parecen convergentes hácia la parte opuesta del horizonte. Estos rayos se dicen *crepusculares* si aparecen por la tarde, y *anti-crepusculares* cuando se presentan por la mañana.

1216. En una noche sombría con un cielo puro, al terminar el crepúsculo, se ve por la parte del Oeste una luz algo fosforecente, que tiene la forma de un huso visto de corte como indica la fig. 210, que se levanta sobre el horizonte HH' 30 y mas grados, y que poco á poco va desapareciendo. Esta luz se conoce con el nombre de *luz zodiacal*. Por la mañana precede al crepúsculo por la parte del Este, viéndose levantar su punta poco á poco sobre el horizonte, hasta que su luz se pierde en la del crepúsculo. Generalmente se cree que esta luz, cuya posicion coincide con la del Ecuador del sol, es debida á una especie de atmósfera fosforecente muy extendida y aplanada que envuelve al sol.

H H

(Fig. 210.)

1217. Finalmente el *centelleo* de las estrellas es otro fenómeno que continuamente se observa, y consiste en una incesante movilidad, que nos ofrece su luz, tanto en su intensidad como en su color, principalmente cuando están poco elevadas sobre el horizonte. La causa fundamental de este fenómeno es la refraccion y dispersion de la luz de las estrellas en la atmósfera, que trasforma el punto luminoso en un pequeño espectro: pero ese movimiento trémulo, que caracteriza el centelleo, se atribuye á la agitacion de la atmósfera y á las corrientes aéreas que continuamente la afectan, pues cuando la atmósfera está muy agitada, el centelleo es mas notable. Por este motivo algunos meteorologistas han pensado que se podria pronosticar el

tiempo por medio de las observaciones del centelleo de las estrellas, pues las corrientes aéreas, ó sea los vientos que agitan las regiones elevadas de la atmósfera, tarde ó temprano se hacen sentir en las partes bajas.

CAPITULO XII.

DE ALGUNOS METÉOROS DE ORÍGEN DESCONOCIDO.

1218. Se observan algunos otros metéoros, de los cuales no siempre se puede dar una explicacion satisfactoria. En diferentes paises alguna vez han caido lluvias de polvo, de arena, de trigo y de otras semillas, como tambien lluvias rojas, amarillas, y aun de insectos como sapitos y otros animalillos. De las primeras es fácil darse razon, pues un viento violento arrebatando tales sustancias y trasportándolas á lugares muy distantes, puede ser causa de ellas. No es tan fácil la explicacion de la lluvia roja, y menos aun de la de insectos. Algunos creen que la lluvia roja pueda originarse del trasporte por los vientos de nieves teñidas en rojo por ciertos vejetales que crecen en las montañas en que habia caido dicha nieve.

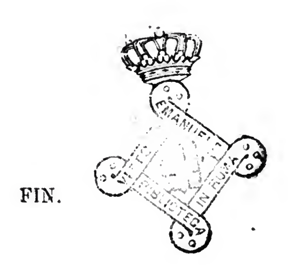
1219. Se observa frecuentemente en la atmósfera durante las noches serenas un metéoro, que consiste en la aparicion de unas como estrellas, que corren con mucha rapidez, desapareciendo repentinamente. El vulgo las llama *estrellas fugaces, corredizas, volantes*. Su movimiento es á veces muy rápido, pero otras veces es bastante lento, y observadas con un telescopio, no pocas veces son visibles por tres y mas minutos. Su marcha es mas ó menos curvilínea, á veces se paran de repente, ó toman un movimiento retrógrado, y finalmente se rompen en fragmentos.

1220. Observándose estos metéoros con mas frecuencia en ciertas épocas del año, principalmente hácia el 10 de agosto y 12 de noviembre, se cree que son asteroides, que en número inmenso giran como los planetas al rededor del sol en una zona, que se cruza con la órbita terrestre, y que la tierra toca en ciertas ocasiones. Atravesando entonces rápidamente la atmósfera se inflaman con su choque, y por el obstáculo, que les oponen las corrientes atmosféricas, sufren las variaciones referidas en su marcha. Algunas noches en las citadas épocas se han visto en tal abundancia, que su conjunto se ha comparado á una lluvia de estrellas.

1221. Algunas veces se observan unos globos de fuego que se denominan *bolides*, y que el vulgo llama *exhalaciones*, los cuales á veces se dividen con explosion, y finalmente caen en fragmentos mas ó menos voluminosos en la superficie de la tierra, en cuyo caso se

les da el nombre de *aerolitos ó meteoritos*, los cuales analizados químicamente, se hallan compuestos de hierro, nikel, cobalto y otras sustancias. Se cree que estos cuerpos tienen el mismo orígen que las estrellas fugaces, y que venidos de distancias desconocidas se inflaman por efecto del roce de la atmósfera terrestre, la cual retardando su velocidad determina finalmente su caida. De muchos bolides observados simultáneamente en distintos lugares se ha podido calcular la altura, á que se hallaban, en el momento de la observacion, esta altura pasa á veces de 50, 100 y mas kilómetros y á veces no llega á 5000 metros. Su velocidad es enorme. Así el que se vió en Francia el 29 de octubre de 1857 tenia una velocidad de unos 37 mil metros por segundo.

FIN.



FE DE ERRATAS.

PÁGINA.	LÍNEA.	ERROR.	CORRÍJASE.
16	4	todos	todas
17	4	*p. ef.*	por eg.
»	10	(25) así,	(25), así
»	19	$x=\frac{P}{P}$	$x=\frac{P}{p}$
18	9	C	*c*
»	11	C	*c*
25	25	CD′	F′D′
26	28	P×Q	P+Q
28	20	$R'.r$	$R'.r'$
46	23	1000	100
»	24	100	1000
51	5	r^2	v^2
58	16	$\frac{t}{2}:T$	$\frac{T}{2}:t$
59	37	$\frac{2r^2x}{g}$	$\frac{2v^2x}{g}$
61	16	tiendo	tiende
63	36	T′	F′
64	23	9=9,8128	g=9,8128
81	4	segmente	segmento
82	7	de un tubo	en un tubo
86	33	hallen	hallan
87	33	(63)	(653)
95	18	$60\sqrt{}\overline{A}+900$	$60\sqrt{A+900}$
108	12	fuerza	barra
111	9	evaporado	evaporando
113	37	gionometro	goniometro
124	33	*do*—1	do_{-1}
125	7	la diferencia	la relacion
145	36	permiten	premiten
155	5	406	40,6
157	6	atamos	atomos
166	15	los que no reunen	las que no reunen
168	19	sin olor	sin color
177	9	bori-	bo-

PÁGINA.	LÍNEA.	ERROR.	CORRÍJASE.
177	21	brumo	bruno
193	38	$l^{03}\frac{(1+kt)}{l^{03}}$	$\frac{l^{03}(1+kt)^3}{l^{03}}$
194	5	$V=\frac{1+kT'}{1+KT}$, V	$V'=\frac{V(1+KT')}{1+KT}$, V'
197	24	$\frac{d}{d'}=1+k$	$\frac{d}{d'}=1+kt$
200	29	acido sulfidrico	acido clorhidrico
»	32	0,1056	1,1056
201	22	Agua 1,0000	Aire 1,0000
202	36	$\frac{m'c(\theta-t')}{m(t-\theta-n(\theta-t')}$	$\frac{m'c(\theta-t')}{m(t-\theta)-n(\theta-t')}$
204	20	vapor en agua	valor en agua
207	27	hace	hacer
208	28	consguiente	consiguiente
221	1	seferas	esferas
222	33	$c=\frac{500+6}{75}$	$c=\frac{500\times6}{75}$
242	5	$\frac{(n-1^2)}{n^3}$	$\frac{(n-1)^2}{n^3}$
258	41	calor	color
277	26	paraliscopios	polariscopios
280	26	un	su
283	16	(1098)	(1101)
»	18	B y C	A y B
330	39	182	183
»	»	mercurio C	mercurio B
344	11	conmutador Q	conmutador a
»	12	n. 1094	n. 1096
346	14	B y C	A y B
347	6	llamada	llamados
350	40	$v^2=P+200$, expresando el valor de p en granos y el de v en metros.	$v^2=p\times200$ expresando el valor de p en libras por pie cuadrado, y el de v en millas por hora.
353	2	crecer	decrecer
358	33	$\frac{(F-F')}{-F'}$	$\frac{(T-T')}{-T'}$
369	1	oronométricas	ozonometricas
»	4	orono	ozono
375	24	parte de la luz	la luz
»	26	la que penetra por el	parte de esta en el

ÍNDICE

de las materias contenidas en esta obra.

LIBRO PRIMERO.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS.

	Pag.
CAPÍTULO I. Nociones preliminares.	1
CAP. II. Propiedades esenciales de los cuerpos.	2
CAP. III. De la divisibilidad física de los cuerpos.	3
CAP. IV. De la impenetrabilidad de los cuerpos.	4
CAP. V. De la porosidad de los cuerpos.	5
CAP. VI. De la compresibilidad de los cuerpos.	7
CAP. VII. De la elasticidad de los cuerpos.	9
CAP. VIII. De la atraccion universal y de la gravedad.	14
CAP. IX. Del peso específico de los cuerpos.	16

LIBRO II.

MECÁNICA DE LOS SÓLIDOS.

CAPÍTULO I. Nociones preliminares.	20
CAP. II. De la composicion y resolucion de las fuerzas convergentes.	22
CAP. III. De la composicion y resolucion de las fuerzas paralelas.	24
CAP. IV. Teoría de los momentos de las fuerzas.	27
CAP. V. Del centro de gravedad.	29
CAP. VI. De las máquinas.	32
ARTÍCULO 1.º Máquina funicular.	id.
ART. 2.º Palanca.	33
ART. 3.º Polea.	38
ART. 4.º Torno.	40
ART. 5.º Plano inclinado.	42
ART. 6.º Tornillo ó rosca.	43
ART. 7.º Cuña.	45
CAPÍTULO VII. De las máquinas en general, y del roce y rigidez de las cuerdas.	46
CAP. VIII. De las leyes del movimiento uniforme y uniformemente acelerado y retardado.	48
CAP. IX. Del movimiento de los graves por los planos inclinados.	52
CAP. X. Del péndulo.	54
CAP. XI. Del movimiento de los proyectiles.	58
CAP. XII. De las fuerzas centrales.	61
CAP. XIII. Del choque de los cuerpos.	64

LIBRO III.

HIDRÁULICA.

CAPÍTULO I. Del equilibrio de los líquidos.	70
CAP. II. De la presion que hace un líquido contra las paredes del recipiente que lo contiene...	72

Pag.

CAP. III. Del equilibrio de los líquidos en los vasos comunicantes. 75
CAP. IV. Del equilibrio de los sólidos sumergidos en los líquidos. 77
CAP. V. De los fenómenos de la capilaridad. 80
CAP. VI. De la presion y equilibrio del aire atmosférico. 85
CAP. VII. De los cuerpos sumergidos en el aire. 88
CAP. VIII. Fenómenos que se observan en los líquidos al salir de un vaso por un pequeño orificio. 90
CAP. IX. De la velocidad y derrame de los líquidos, que salen por pequeños orificios. 92
CAP. X. Del movimiento de los líquidos por los tubos largos, y por los capilares. 96
CAP. XI. De los canales ó rios. 97
CAP. XII. Del movimiento de los fluidos elásticos. 99

LIBRO IV.

ACCIONES MOLECULARES.

CAPÍTULO I. De la atraccion molecular. 101
CAP. II. De la tenacidad de los cuerpos.. 106
CAP. III. De la dureza, ductilidad y flexibilidad de los cuerpos. 109
CAP. IV. De la cristalizacion de las sustancias. 110
CAP. V. De la forma exterior de los cristales, y su reduccion á seis sistemas. 113
CAP. VI. Del movimiento vibratorio y ondulatorio molecular. 117

LIBRO V.

ACÚSTICA.

CAPÍTULO I. De la produccion y calidades del sonido. 121
CAP. II. De las vibraciones de las cuerdas sonoras, y teoría de la escala musical. 123
CAP. III. De las vibraciones de los cuerpos rígidos. 127
CAP. IV. De las vibraciones del aire en los tubos sonoros. 128
CAP. V. Métodos gráficos para apreciar los sonidos. 131
CAP. VI. De la propagacion del sonido. 134
CAP. VII. De la intensidad del sonido propagado. 135
CAP. VIII. De la velocidad del sonido. 137
CAP. IX. De la reflexion del sonido por el aire y del eco. 139
CAP. X. Del órgano del oido. 141

LIBRO VI.

PRINCIPIOS DE QUÍMICA.

CAPÍTULO I. Nociones preliminares. 143
CAP. II. Nomenclatura química. 144
CAP. III. Fenómenos de la afinidad química. 147
CAP. IV. De las proporciones determinadas. 149
CAP. V. Teoría corpuscular ó atómica. 151
CAP. VI. Métodos para determinar el peso atómico de los cuerpos. 153
CAP. VII. Fórmulas de las combinaciones, y modo de expresar con ellas las análisis de los cuerpos. 156
CAP. VIII. De las soluciones, y de otros fenómenos análogos. 158
CAP. IX. Del oxígeno. 160

Pag.

Capítulo X. Del hidrógeno. 163
Cap. XI. Del nitrógeno ó azoe. 166
Cap. XII. Del cloro, fluor, bromo, iodo. 169
Cap. XIII. Del azufre, selenio, y teluro. 172
Cap. XIV. Del fósforo y del arsénico. 173
Cap. XV. Del carbono, del boro y del silicio. 175
Cap. XVI. De los metales en general. 177
Cap. XVII. De los metales de las tres primeras secciones. 178
Cap. XVIII. De los metales propiamente dichos. 180
Cap. XIX. De los principales compuestos 183

LIBRO VII.

DEL CALÓRICO.

Capítulo I. De la dilatacion de los cuerpos por efecto del calor. 187
Cap. II. De la temperatura y de los termómetros. 188
Cap. III. De la medida de la dilatacion de los sólidos. 192
Cap. IV. De la dilatacion de los líquidos 195
Cap. V. De la dilatacion de los gases. 197
Cap. VI. De la densidad de los gases. 199
Cap. VII. Del calórico específico. 201
Cap. VIII. Del cambio de estado de los cuerpos.. 205
Cap. IX. De la tension de los vapores. 209
Cap. X. De la ebullicion de los líquidos. 213
Cap. XI. De las máquinas de vapor. 216
Cap. XII. De la irradiacion del calórico, y enfriamiento de los cuerpos. . . . 223
Cap. XIII. De la trasmision del calor á través de los cuerpos. 226
Cap. XIV. De la absorcion del calor radiante. 227
Cap. XV. De la reflexion del calor. 229
Cap. XVI. De la conductibilidad del calor. 230
Cap. XVII. De varios manantiales de calor. 232
Cap. XVIII. De varios medios de calefaccion. 236

LIBRO VIII.

ÓPTICA.

Capítulo I. Hipótesis sobre la naturaleza de la luz. 239
Cap. II. De algunas propiedades del rayo luminoso. 240
Cap. III. De la reflexion de la luz. 243
Cap. IV. De la refraccion simple de la luz. 247
Cap. V. De la trasmision de la luz por medios diafanos. 250
Cap. VI. Refraccion de la luz á través de las lentes. 252
Cap. VII. De la dispersion y recomposicion de la luz. 256
Cap. VIII. Descripcion de los microscópios y telescópios. 260
Cap. IX. De algunos otros instrumentos de óptica. 264
Cap. X. Del ojo y de los fenómenos de la vision. 267
Cap. XI. De la difraccion ó interferencia de la luz. 272
Cap. XII. De la doble refraccion. 275
Cap. XIII. De la polarizacion rectilínea de la luz. 276
Cap. XIV. De la polarizacion cromática de la luz. 280
Cap. XV. De la polarizacion rotatoria de la luz. 282

LIBRO IX.

DEL MAGNETISMO Y ELECTRICIDAD.

	Pag.
Capítulo I. De los imanes, y de sus propiedades.	284
Cap. II. Del magnetismo terrestre.	286
Cap. III. Métodos para desarrollar la virtud magnética.	288
Cap. IV. Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas.	290
Cap. V. De la electricidad en los cuerpos y su desarrollo por el roce.	291
Cap. VI. Disposicion del fluido eléctrico en los cuerpos y su tension.	293
Cap. VII. Induccion electro estática, ó electricidad por influencia.	295
Cap. VIII. De algunos aparatos de electricidad.	296
Cap. IX. Del electróforo y de otros aparatos análogos.	299
Cap. X. Efectos de la descarga eléctrica.	302
Cap. XI. Causas del desarrollo de la electricidad.	305
Cap. XII. Del electrotismo de los cuerpos y de la pila de Volta.	307
Cap. XIII. De las principales modificaciones de la pila voltaica.	310
Cap. XIV. De los efectos fisiológicos de la pila.	313
Cap. XV. Efectos físicos de la pila.	314
Cap. XVI Efectos químicos de la pila.	316
Cap. XVII. De la metalurgia galvánica.	319
Cap. XVIII. Efectos magnéticos producidos por las corrientes eléctricas.	321
Cap. XIX. Telegrafía eléctrica.	322
Cap. XX. De la accion mútua de las corrientes eléctricas.	326
Cap. XXI. de la accion del globo terrestre sobre las corrientes eléctricas.	329
Cap. XXII. Accion mútua de los imanes y de las corrientes eléctricas.	331
Cap. XXIII. Corrientes termo-eléctricas.	333
Cap. XXIV. De las corrientes eléctricas inducidas por otras.	335
Cap. XXV De la induccion electro-magnética.	341
Cap. XXVI. Diamagnetismo.	344

LIBRO X.

METEOROLOGIA.

Capítulo I. De la atmósfera.	347
Cap. II. De los vientos.	348
Cap. III. De la distribucion del calor.	351
Cap. IV. Higrometría.	355
Cap. V. Del relente, rocío y escarcha.	360
Cap. VI. De las nieblas y de las nubes.	361
Cap. VII. De la lluvia, nieve y granizo.	364
Cap. VIII. De la electricidad atmosférica.	367
Cap. IX. Del relámpago, del trueno y de los para-rayos.	369
Cap. X. Fenómenos producidos por el magnetismo terrestre.	372
Cap. XI. Fenómenos luminosos de la atmósfera.	375
Cap. XII. De algunos fenómenos metcóricos de origen desconocido.	378

FIN DEL ÍNDICE.



